



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
أبوابها مفتوحة على كل علم  
تاريخها عريق في تاريخ السودان  
أسسها الله في ١٩٧٤م



جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية الدراسات العليا

دراسة تأثير التثبيح على الخواص النووية لبعض البوليمرات

## A Study of the Effect of Irradiation on Nuclear Properties of Some Polymers

اطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراة في الفيزياء

إشراف:

الدكتور / خالد محمد هارون  
الدكتور / احمد الحسن الفكي

اعداد الدارس:

خالد الجزولي قمر الدين

2017

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## الآية

قال تعالى:

(( يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا  
يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ <sup>ط</sup> وَإِذَا قِيلَ انشُزُوا فَانشُزُوا يَرَفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ  
وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ <sup>ج</sup> وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ))

صدق الله العظيم

المجادلة

[1] [1 الآية

## الشكر والعرفان

الحمد لله رب العالمين على ما أمدني به من قوة وصبر وبما أعانني عليه في كل شئ لاتمام هذا العمل.

يسرني ان اقدم جزيل شكري وفائق تقديري الى مشرفي الفاضلين :

الدكتور / خالد محمد هارون

الدكتور / احمد الحسن الفكي

واتقدم بفائق الشكر والاحترام للبروفيسير مبارك درار عبدالله لما قدمه لي من عون وتسهيل لانجاز هذا البحث

واتقدم بالشكر لكل من ساهم في اخراج هذا البحث

واسال الله ان يجزيهم عني خير الجزاء

## المستخلص

تم في هذا البحث دراسة نظرية للمدى وقدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر العناصر ومركبات بعض البوليمرات.

يهدف هذا البحث الى تعديل معادلة حساب قدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة الساقطة على العناصر لتشمل تأثير العدد الكتلي للعناصر ونظائرها ومقارنة نتائجها مع النتائج المحسوبة من برنامج ((SRIM(2013)، وكذلك معرفة تأثير المدى وقدرة الايقاف لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر العناصر ومركبات بعض البوليمرات.

أما مشكلة البحث فهي تتمثل في عدم وجود معادلات تتطرق بالتفصيل لتأثير العدد الكتلي للذرة على قدرة الايقاف الالكترونية والمدى للجسيمات المشحونة.

أتبع الباحث المنهج الاستقرائي الرياضي النظري والحوسبة واستخدم حوسبة برنامج ((SRIM(2013).

أهم نتيجة توصلت اليها الدراسة هي أن التعديل في المعادلة قد بين التغير الحادث في قدرة الايقاف الناتج من زيادة عدد النيوترونات التي تزيد العزم المغناطيسي للذرة، مما يزيد طاقة الوضع التنافري ويزيد كتلة الالكترون و يقلل قدرة الايقاف، و قورنت الحسابات الناتجة من المعادلة المعدلة مع النتائج المحسوبة من برنامج ((SRIM(2013) وقد اظهرت توافقاً جيداً.

ويوصي الباحث بالتعمق في النظرية النسبية الخاصة في مفهوم الكتلة النسبية ودراستها بشكل أكبر وتطبيقاتها في مجال التفاعل بين الاشعاع والمادة.

## **Abstract**

In this research includes theoretical Study of The Range and Electronic stopping power for Alpha particles falling on elements isotopes and vehicles of some polymers.

The research aims to modify equation calculation Electronic stopping power for charged particles falling on elements to include effect of mass nuber for elements and isotopes and comparison results with the results of (SRIM(2013)) as well as knowing The Effect Range and Electronic stopping power for Alpha particles falling on elements isotopes and vehicles of some polymers.

The research issue represent is the same there is no equation to solve in details to effect mass number of atom on stopping power and range for charged particles.

The researcher uses inductive mathematic theoretical methods and computational and use computational of Srim program.

The most Important Results that study found is Generalized of equation show that the change in stopping power may be resulted from increased neutrons number to increase the magnetic moment of atom, to increase distractive potential Energy and increase electron mass to decreased stopping power, and the results of Generalized equation where compared with the result of (SRIM (2013)) showed good agreement.

The researcher recommends studying relativity theory in depth of relativity mass and large studied and application in field interaction radiation with matter.

## المحتويات

الرقم	الموضوع	الصفحة
	الاية	i
	الشكر والعرفان	ii
	المستخلص	iii
	ABSTRAC	vi
الباب الاول : المقدمة		
1.1	المقدمة	1
1.2	مشكلة البحث	5
1.3	أهداف البحث	5
1.4	طريقة اجراء البحث	6
1.5	محتوى البحث	6
الباب الثاني : أدبيات البحث والدراسات السابقة		
2.1	المقدمة	8
2.2	تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة مع المادة	8
2.3	تفاعل جسيمات ألفا مع المادة	10
2.4	تفاعل الجسيمات الخفيفة المشحونة مع المادة	10
2.5	تفاعل الالكترونات السريعة مع المادة	11
2.5.1	فقد الطاقة بالتصادم	12
2.5.2	فقد الطاقة بالإشعاع	12
2.5.3	امتصاص الالكترونات في المادة	13
2.6	تفاعل جسيمات بيتا مع المادة	14
2.7	بعض مركبات البوليمرات	15

15	بولي ايثيلين	2.7.1
17	بولي سترين	2.7.2
18	بولي ميثيل ميثاكريلات	2.7.3
19	النظائر (Isotopes)	2.7.4
21	مدى الجسيمات المشحونة الثقيلة	2.8
22	مدى جسيمات ألفا	2.9
27	مدى الالكترونات السريعة	2.10
27	تحديد مدى الالكترونات من منحنى الامتصاص	2.10.1
29	مدى جسيمات بيتا	2.11
29	قدرة الايقاف الالكترونية	2.12
32	اشتقاق الكتلة النسبية حسب النظرية النسبية الخاصة	2.13
37	الدراسات السابقة	2.14
<b>الباب الثالث : طريقة اجراء البحث</b>		
41	المقدمة	3.1
41	الطريقة	3.2
41	برنامج سريم (srim)	3.3
<b>الباب الرابع : النتائج والمناقشة</b>		
45	المقدمة	4.1
45	تعديل معادلة حساب قدرة الايقاف حسب النظرية النسبية الخاصة المعممة	4.2
47	قدرة الايقاف الالكترونية	4.2.1
47	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الهيدروجين من المعادلة وبرنامج سريم	4.2.1.1
48	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الكربون من المعادلة وبرنامج سريم	4.2.1.2
51	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الاوكسجين من المعادلة وبرنامج سريم	4.2.1.3
53	قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من المعادلة	4.2.1.4



54	قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من برنامج سريم	4.2.1.5
55	المدى لجسيمات ألفا	4.2.2
55	المدى لجسيمات ألفاالساقطة على العناصر من المعادلة	4.2.2.1
56	المدى لجسيمات ألفا الساقطة على العناصر من برنامج سريم	4.2.2.2
59	المدى لجسيمات ألفا الساقطة على مركبات البوليمر من المعادلة	4.2.2.3
60	المدى لجسيمات ألفا الساقطة على مركبات البوليمر من برنامج سريم	4.2.2.4
61	المناقشة	4.3
61	قدرة الايقاف الالكترونية في العناصر والمركبات	4.3.1
62	مدى جسيمات ألفا في العناصر والمركبات	4.3.2
63	الخاتمة	
64	التوصيات	
الملاحق		

قائمة الاشكال:

الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
13	اثر الالكترين في المادة	(2-1)
17	الصيغة الكيمائي للبولي سترين	(2-2)
19	الصيغة الكيمائي للبولي مثيل ميثاكريلات	(2-3)
22	المدى لجسيمات ألفا	(2-4)
28	منحنيات امتصاص لثلاثة من مصادر بيتا المختلفة	(2-5)
52	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الهيدروجين من المعادلة المعدلة (4-10)	(4-1)
53	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الهيدروجين من برنامج سرجم	(4-2)
54	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الكربون من المعادلة المعدلة (4-10)	(4-3)
55	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الكربون من برنامج سرجم	(4-4)
56	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الاوكسجين من المعادلة المعدلة (4-10)	(4-5)
57	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الاوكسجين من برنامج سرجم	(4-6)
58	قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من المعادلة (2-31)	(4-7)
59	قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من برنامج سرجم	(4-8)
60	مدى جسيمات الفا في العناصر (H,O,C) من المعادلة (2-20)	(4-9)
61	مدى جسيمات ألفا في نظائر الهيدروجين من برنامج (سرجم)	(4-10)
62	مدى جسيمات ألفا في نظائر الكاربون من برنامج (سرجم)	(4-11)
63	مدى جسيمات ألفا في نظائر الاوكسجين من برنامج (سرجم)	(4-12)
64	المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من المعادلة (2-22)	(4-13)
65	المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من برنامج (سرجم)	(4-14)

قائمة الجداول:

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
20	العناصر المختارة الموجودة في الطبيعة منها العناصر الخفيفة والنسبة المئوية للنظائر الثابتة المختلفة لكل منها	(2-1)
52	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الهيدروجين من المعادلة المعدلة (4-10)	(4-1)
53	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الهيدروجين من برنامج سريم	(4-2)
54	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الكربون من المعادلة المعدلة (4-10)	(4-3)
55	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الكربون من برنامج سريم	(4-4)
56	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الاوكسجين من المعادلة المعدلة (4-10)	(4-5)
57	قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الاوكسجين من برنامج سريم	(4-6)
58	قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من المعادلة (2-31)	(4-7)
59	قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من برنامج اسريم	(4-8)
60	مدى جسيمات ألفا في العناصر (H,O,C) من المعادلة (2-20)	(4-9)
61	مدى جسيمات ألفا في نظائر الهيدروجين من برنامج (سريم)	(4-10)
62	مدى جسيمات ألفا في نظائر الكاربون من برنامج (سريم)	(4-11)
63	مدى جسيمات ألفا في نظائر الاوكسجين من برنامج (سريم)	(4-12)
64	المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من المعادلة (2-22)	(4-13)
65	المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من برنامج (سريم)	(4-14)

قائمة الاختصارات:

المصطلح	الاختصار
<b>The Stopping and Range of Ion in Matter</b>	<b>SRIM</b>
<b>polyethylene</b>	<b>PE</b>
<b>polystyrene</b>	<b>SE</b>
<b>poly methyl methacrylate</b>	<b>PMMA</b>

الباب الاول

CHAPTER ONE

المقدمة

Introduction

## 1.1 المقدمة: Introduction

يعتبر علم البوليمرات أحد العلوم الكيميائية الحديثة حيث أن تركيب الجزيئات العملاقة والتي سميت بالبوليمرات (Polymers) لم يعرف بالتحديد إلا بعد عام (1920م).

لقد استخدم الإنسان القديم البوليمرات الطبيعية (Natural polymers) قبل مئات القرون، فقد صنع ملابسه من القطن والصوف والحريير وجلود الحيوانات، واستخدم البوليمرات في طعامه كالزيوت النباتية (Oils) والشحوم الحيوانية (Fats) واستعمل الراتنجات الطبيعية (Natural Resins) كأصماغ ولواصق منذ آلاف السنين كالصمغ العربي (Arabic Gum) والأصماغ الحيوانية والإسفلت الذي استخدم في طلاء القوارب [1].

لقد صنفت البوليمرات في القرن الثامن عشر ضمن الغرويات (Colloids) لأن الحالة الغروية في ذلك الوقت كانت معروفة بمثابة حالة مستقلة من حالات المادة إضافة إلى الحالة السائلة والصلبة، وقد كان سبب هذا الاعتقاد الخاطئ أن معظم المواد الغروية تمتاز بأوزانها الجزيئية العالية مقارنة بالمواد الأخرى البسيطة، وبقي هذا المفهوم سائداً حتى عام (1880م) عندما اكتشف راؤولت (Raoult) وفانت هوف (Vant Hoff) طرقاً لتعيين الوزن الجزيئي فقد عين بهذه الطرق الوزن الجزيئي للمطاط الطبيعي والنشأ ونواتر السليلوز ووجد بأنها تتراوح بين (10000-40000)، وتعتبر هذه الخطوة أولى الدوافع التي أدت إلى الاعتقاد بفكرة وجود الجزيئات الكبيرة (Macromolecules)، ولم يقبل العلماء في ذلك العصر إمكانية وجود مثل هذه الأوزان الجزيئية الكبيرة واعتبروا أنها أوزان غير صحيحة وفسروا أن السبب في ذلك هو أن قانون راؤولت لا ينطبق على حالات المحاليل الغروية، وبالتالي يمكن القول بأن من الأسباب التي دعت كيميائي ذلك العصر إلى رفض فكرة الجزيئات ذات الأوزان الكبيرة هي:

لم يمكن بالإمكان وضع حد فاصل بين الجزيئات الكبيرة والمواد الغروية لذلك اعتقد البعض أن المواد البوليمرية التي سميت بالجزيئات الكبيرة هي مواد غروية لا ينطبق على محاليلها قانون راؤولت. وفسر كبر وزنها الجزيئي على أساس تجمع فيزيائي للجزيئات الصغيرة، أي أن هذه المواد المعقدة تتركب من تجمع عدد كبير من جزيئات بسيطة في صورة مركبات متجمعة (Associated Complex) ترتبط فيها الجزيئات البسيطة بروابط الجذب الثانوية (Secondary Forces)، حيث اقترح أن حجم هذه المركبات المتجمعة يصل إلى حجم الجسيمات الغروية (Colloidal Particles). [2,1]

فقد فسر مثلاً الوزن الجزيئي للمطاط الطبيعي، الذي عرف صيغته الوضعية منذ عام 1826م) ( $C_5H_8$ )، بأنه ناتج من تجمعات جزيئات الأيزوبرين (Isoprene) التي أمكن عزلها من تقطير المطاط الطبيعي، وبعد أن نجح بعض الكيميائيين في تحضير بعض البوليمرات مثل بولي ستيرين (Polystyrene) (1839م) وبولي (جلايكون الإيثيلين) (1860م) ومطاط الأيزوبرين (Isoprene Rubber) (1879م) وبفضل جهود العالم ستونونجر (Herman Staudinger) نالت فرضية الجزيئات الكبيرة (الجزيئات العملاقة) (Macromolecules) تأييد الكثير من العلماء. [2,1]

اقترح ستونونجر: أن هذه الجزيئات العملاقة تتكون تحت ظروف خاصة من ترابط العديد من الجزيئات الصغيرة بروابط تساهمية (Covalent). وكان ستونونجر أول من اقترح صيغة بنائية للمطاط الطبيعي على شكل سلسلة طويلة متشابكة من وحدات المركب البسيط الأيزوبرين، وفي البداية قبل اقتراح ستونونجر لفكرة الجزيئات العملاقة باعترافات شديدة ولكن بعد التقدم الذي تم في تطوير استخدام أشعة إكس في الكشف عن تركيب جزيئات تلك المواد المعقدة وكذلك في ابتكار طرق جديدة لتعيين الأوزان الجزيئية تأكد صحة اقتراح ستونونجر ومنح هذا العالم جائزة نوبل في الكيمياء عام (1953م) تقديراً له عن الكشف عن هذه الجزيئات العملاقة والتي عرفت فيما بعد بالبوليمرات. [3,2,1]

منذ زمن ستونونجر انتشرت وتطورت الأبحاث الخاصة لدراسة البوليمرات من المصادر الطبيعية وكذلك تصنيع البوليمرات الصناعية من كل نوع وحجم، وقد ساهم في دعم وإثبات فرضية الجزيئات الكبيرة كلا من العالم الأمريكي كاروثرز (Carothers) عام (1929م) الذي يعتبر رائداً في مجال تصنيع البوليمرات الصناعية حيث قام في عام (1929م) بتحضير النايلون الشهير والمعروف باسم نايلون 66 (nylon 66). وهو بوليمر البولي أميد (البولي هكسا ميثيلين أديب أميد) (poly hexamethylene adipamid) متكون من حامض الأديبيك (adipic acid) وهكسا ميثيلين داي أمين (-diamine hexamethylene)، وكذلك ممن دعم فرضية الجزيئات الكبيرة العالم فلوري (Flory) عام (1937م) وغيرهم. [3,1]

وأدى التطوير في أبحاث البوليمرات إلى تطوير التكنولوجيا في استخدامها في التطبيقات الصناعية، وانتشرت منذ الحرب العالمية الثانية الصناعات العديدة التي تعتمد على استخدام البوليمرات مثل صناعات البلاستيك والألياف الصناعية والمطاط والبويات واللواصق والخشب الصناعي وغيرها. [2,1]

من الصعوبات التي واجهتها فرضية الجزيئات الكبيرة هو كيفية تفسير تكون المجاميع الفعالة في نهاية السلاسل وطبيعتها، لأن تعيين نسب ونوع هذه المجاميع الفعالة صعب لقلّة تركيزها من ناحية، ولعدم وجود طرق كيميائية أو فيزيائية دقيقة وقتئذٍ لتعيين وتشخيص هذه المجاميع الفعالة، وقد اقترح ستودنجر عام (1925م) بأنه لا يستوجب وجود مجاميع فعالة في نهاية السلاسل لغرض إشباع تكافؤات الذرة الأخيرة من السلسلة البوليمرية واعتبر هذه المجاميع - حتى في حالة وجودها - غير فعالة بسبب كبر حجم الجزيئات المرتبطة بها، وقد اعتقد أيضاً بفكرة وجود التراكيب الحلقية (Cyclic structure) الكبيرة حلاً لمشكلة المجاميع النهائية، وبقيت هذه الفكرة مقبولة لفترة من الزمن حتى عام (1937م) عندما وضع فلوري (Flory) ميكانيكية التفاعلات المتسلسلة (Chain reaction). [2,1]

يرجع الاستخدام لهذه المواد إلى تاريخ قديم بدأ في عام (1838م) عندما استخدمت قطع من المطاط الطبيعي في تصنيع قطع الممحاة، وقد تم هذا حتى قبل أن يكتشف العالم جود بير (Good year) عملية فلكنة المطاط (Vulcanization) عام (1839م)، و بعد اكتشاف عملية الفلكنة بعشرة أعوام بدأت تظهر وتنتشر صناعات عديدة تعتمد على استخدام المطاط المفلكن. وكذلك اكتشف تكوين الأيونيت أو المطاط القاسي (Ebonite) عام (1851م). [4,2,1]

في عام (1838م) اكتشفت طريقة لمعالجة السليلوز بحمض النيتريك وإنتاج مركب نترات السليلوز (Cellulose). وفي عام (1870م) أمكن إنتاج هذا المركب بطريقة صناعية وبعدها اكتشفت طريقة خلط نترات السليلوز بمركب الكامفور (Camphor) لإعطاء المادة التي عرفت تحت اسم الباغة (Celluloid) وبعد ذلك اكتشف أن بوليمر نترات السليلوز يمكن استخدامه في العديد من الصناعات الأخرى مثل صناعة المتفجرات (قطن البارود) والحريير الصناعي، وصناعة زجاج الأمان وفي تصنيع بويات السيارات (الدوكو). [5,1]

في عام (1856م) اكتشفت طريقة إنتاج السليلوز نتيجة تفاعل السليلوز مع خليط من حمض الخليك المركز وأنهيدريد حمض الخليك (Acetic an hydride). ولكن هذا البوليمر لم يستخدم صناعياً حتى عام (1900م). بعد أن اكتشفت التكنولوجيا الخاصة بتحويله إلى ألياف صناعية. [2,1]

في عام (1859م) اكتشفت طريقة لإذابة السليلوز في مذيبات خاصة تتكون من أملاح النحاس النشادرية وقد أمكن ترسيب السليلوز المذاب وحصل بذلك على نوع من الحريير الصناعي



والذي عرف في ذلك الوقت بحرير الكوبر أمونيوم (Cuprammonium) كما تطورت العملية التكنولوجية عام (1891م) لإنتاج الفسكوز (Viscose). [2,1]

يعتبر بوليمر الفينول فورمالدهيد من أقدم البوليمرات التي تم تصنيعها من مصادر غير طبيعية، وقد اكتشف طريقة تصنيعه الأمريكي باك لاند Backland حيث وجد أن تفاعل مركب الفينول مع مركب الفورمالدهيد يعطى مركباً معقداً سمي باليكاليت (Backlite) بعد اسم مكتشفه وقد استغل بوليمر البكاليت صناعياً عام (1907م) في إنتاج أجهزة التليفون السوداء القديمة. وفي عام (1600م) اكتشفت طريقة لتحويل مركب الستيرين (Styrene) إلى مركب معقد. وقد بدأ في استغلال هذا البوليمر صناعياً في ألمانيا عام (1930م) وفي الولايات المتحدة عام (1937م). [3,2]

النظائر (Isotopes) هي عناصر شبيهة لعنصر ما في الجدول الدوري تحمل نفس صفاتها الكيميائية وتختلف عنها في بعض الصفات الفيزيائية، فهي عناصر ذات أنوية متماثلة تدور حولها عدد مختلف من النيوترونات، فمنها المستقرة ومنها المشعة. [7,6]

حتى عام (1911م) كان قد اكتشف ما يقرب من أربعين عنصراً لها نشاط إشعاعي واضح، وكان هناك في الجدول الدوري اثنا عشر مكاناً خالياً فقط يمكن أن تحتله هذه العناصر وكان هناك تساؤل كيف يمكن وضع أربعين عنصراً في اثني عشر مكاناً فقط في هذا الجدول، وكان من الواضح أنه حتى لا يحدث أي إخلال بأسس نظام الترتيب الدوري للعناصر فإنه من المحتم أن يشغل عدد من العناصر المشعة مكاناً واحداً في ذلك الجدول الدوري لمندليف، وبالفعل تبين أن ذلك كان ممكناً حيث أن بعض مجموعات من العناصر (المكتشفة) التي تملك خواص إشعاعية مختلفة تماماً لا يمكن فصلها بعضها عن بعض بأي وسيلة كيميائية ممكنة، وبذلك فهي تكون متطابقة في خواصها الكيميائية ويجب وضعها في مكان واحد في الجدول الدوري. [6]

وفي عام (1913م) اقترح سودي (Soddy) أن تسمى مجموعة العناصر التي يمكن أن تشغل مكاناً واحداً في الجدول الدوري للعناصر باسم "النظائر" وهذا يعني أن كل تلك العناصر تحتوي على نفس العدد من البروتونات، وبالتالي نفس العدد من الإلكترونات في المدارات خارج النواة وهو ما يؤدي إلى تماثل الصفات الكيميائية لمختلف النظائر للعنصر الواحد. [7,6]

ومن جهة أخرى فقد أثار وجود كسور في قيم الأوزان الذرية حيرة العلماء حيث لم يكن هناك تقبل لفكرة تجزئة وحدة البنى الذرية، وظل الأمر كذلك حتى تمكن أستون في عام (1919م) من تطوير جهاز مطياف الكتلة لتحليل بعض العناصر المعروفة، وهو الذي استخدم فيه

مجالاتاً مغناطيسياً متعامداً مع مجال كهربائي وهو ما تسبب في حدوث انحراف متفاوت القيمة للجسيمات ذات الأوزان الذرية المختلفة التي تمر من خلالها، وفي النهاية يؤدي إلى تجميع كل الجسيمات التي لها كتلة واحدة في نقطة واحدة بحيث تمثل كل نقطة ذرات أو جزيئات لها كتلة معينة على لوح التصوير في الجهاز. وبعد أن تمكن العالم الإنجليزي أستون من انشاء مطياف الكتلة الذي ثبت من استخدامه أن العناصر الطبيعية لا تتكون من نوع واحد من الذرات من حيث الكتلة تؤكد مفهوم "النظائر" ليدل على الأنواع المختلفة من ذرات العنصر الواحد يكون فيها عدد البروتونات متساوياً بينما يختلف فيها عدد النيوترونات. [7,6]

بنهاية عام (1920م) قام أستون بتحليل تسعة عشر عنصراً طبيعياً بجهاز مطياف كتلة ووجد أن تسعة منها تتكون من نظيرين أو أكثر، بمراجعة التركيب النظائري للعناصر الموجودة في الطبيعة والتي يشغل كل منها مكاناً محدداً في الجدول الدوري على أساس من صفاته الكيميائية سوف نلاحظ أن كلا منها يتكون من النظائر الثابتة يتراوح في معظم العناصر ما بين (2،3) وقد يصل في بعض العناصر إلى أقل من عشرة. [8,7]

إن اختراق الجسيمات المشحونة للمادة أثار الاهتمام منذ وقت مبكر في الفيزياء الذرية الحديثة، وأول من درس تلك الظاهرة كان العالم نيلز بوهر الذي طور هيكلها النظري بالاعتماد على الميكانيك الكلاسيك. [9]

في عام (1913م) اشتق بوهر صيغة رياضية واضحة لحساب قدرة الايقاف للجسيمات المشحونة الثقيلة [10] ، حيث اعتبر بوهر أن خسارة الطاقة للجسيمة المشحونة الثقيلة هو بسبب اصطدامها مع الكثرونات الذرة [11,10] ، وأن الكثرون الذرة ممكن أن تعتبر ساكن وحر تقريباً قبل اصطدامه مع الجسيم الساقط. [11]

العديد من الدراسات التجريبية اجريت بهدف صياغة علاقات طاقة ومدى قياسية لحساب قدرة الايقاف. وقد تمت مراجعة الموضوع في العقدين (1950—1960م) من قبل عدد من الباحثين مثل Taylor , Askin Bethe , Uehling,Warshaw , Berger Barkas , Allision , وان اغلب البيانات التجريبية جمعت من قبل Whaling Bichsel على هيئة جداول. [12]

## 1.2 مشكلة البحث: problem of research

1- هنالك عدة معادلات تصف قدرة الايقاف الالكترونية والمدى للايونات الساقطة على المواد المستخدمة كأهداف ولكنها لم تتطرق بالتفصيل لتأثير العدد الكتلي للذرة على قدرة الايقاف.

2- دراسة تأثير المدى للعناصر ونظائرها المكونة لمركبات بعض البوليمرات ومقارنتها مع النتائج المحوسبة من برنامج (SRIM).

### 1.3 أهداف البحث: Adjective of research

أهداف عامة:

1- معرفة تأثير المدى وقدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة في نظائر العناصر ومركبات بعض البوليمرات.

2- مقارنة نتائج المدى وقدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة مع نتائج برنامج

(SRIM).

أهداف خاصة:

تعديل معادلة حساب قدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة لحساب قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر العناصر ومقارنتها مع نتائج برنامج (SRIM).

### 1.4 طريقة إجراء البحث: the method of research

تم استخدام الاستقراء الرياضي النظري لمعالجة الاخفاق في حساب قدرة الايقاف والحوسبة واستخدام حوسبة برنامج (SRIM).

### 1.5 محتوى البحث: Scape of research

يحتوي البحث على اربعة ابواب يشمل الباب الاول المقدمة والباب الثاني أدبيات البحث والدراسات السابقة والباب الثالث طريقة إجراء البحث والباب الرابع النتائج والمناقشة.

الباب الثاني

## CHAPTER TWO

أدبيات البحث والدراسات السابقة

Literature review and Prenons of Research

## 2.1 المقدمة: Introduction

تتفاعل الإشعاعات بأنواعها مع المادة بآليات مختلفة ترتبط بطبيعة الإشعاع وطاقته وطبيعة المادة المتعرضة وقد تسبب تغيرات في الخواص الكيميائية وكذلك الخواص الفيزيائية الناتجة عن التأثيرات المباشرة أو غير المباشرة للإشعاع.

تصنف هذه الإشعاعات بنوعها الجسيمية والكهرومغناطيسية بحسب طبيعة تفاعلها مع المادة الى مؤينة وغير مؤينة حيث تشمل الأشعة المؤينة على الجسيمات المشحونة الخفيفة منها والثقيلة وبعض الأشعة الكهرومغناطيسية والنيوترونات. [6]

## 2.2 تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة مع المادة:

### Interaction of heavy charged particles with matter

يتم التفاعل بين الجسيمات الثقيلة المشحونة (مثل جسيمات ألفا، الديوترونات، البروتونات وغيرها) مع المادة من خلال قوى كولوم بين الشحنة الموجبة على الجسيمات والشحنة السالبة الموجودة في الإلكترونات المدارية في ذرات المادة، وقد يحدث أن تصطدم الجسيمات الثقيلة المشحونة بأنوية الذرات إلا أن مثل هذا التصادم نادر الحدوث وبالتالي فإن أجهزة رصد هذه الجسيمات مصممة على أنها تقيس تفاعل هذه الجسيمات مع الإلكترونات المدارية نظراً لأنه الأكثر حدوثاً. [13]

عند دخول الجسيمات الثقيلة المشحونة إلى ذرات المادة يحدث أنها تؤثر بقوة كولوم الجاذبة على الإلكترونات في هذه الذرات ونتيجة هذا التفاعل تعتمد على قوة التصادم فقد تكون هذه القوة قليلة إلى الحد الذي يسبب تحرك الإلكترون من مداره إلى المدار الأعلى (لاكتسابه طاقة أعلى من طاقة مداره الموجود فيه لحظة التصادم) فتحدث أثاره للذرة أو تكون القوة كبيرة بدرجة تكفي لإخراج الإلكترون من جميع المدارات إلى خارج الذرة ويحدث التأين في هذه الحالة، وهذه الطاقة التي تذهب إلى الإلكترون في أي من الحالتين (الإثارة أو التأين) تكون على حساب طاقة الجسيم الثقيل المشحون المصادم وينتج عن ذلك فقد طاقته وتقليل سرعته والمسافة التي سيصل إليها

داخل المادة، هذا وتقدر كمية الطاقة التي يفقدها أي جسيم ثقيل مشحون في كل مرة تصادم مع الإلكترونات بحوالي جزء من خمسمائة جزء من طاقته الأولية تنتقل إلى الإلكترونات وهذا يدل على أن هذه الجسيمات قادرة على إحداث عدد كبير من الإصطدامات أثناء مرورها في أي مادة. وفي أي لحظة منذ دخول الجسيم الثقيل المشحون إلى المادة يتفاعل بالتصادم مع العديد من الإلكترونات ويفقد طاقته تدريجياً حتى يقف في النهاية. وعليه نجد أن لكل جسيم ثقيل مشحون مدى معين في كل مادة يدخل إليه وبعده يقف تماماً. والمدى هو أكبر مسافة يمكن أن يدخل إليها الجسيم داخل المادة. [15,14]

ومما هو جدير بالذكر أن نواتج التصادم أما أن تكون ذرات مثارة أو زوج من الأيونات التي هي عبارة عن الإلكترون (الأيون السالب) المنطلق من الذرة بعد تصادمها بالجسيم الثقيل المشحون والذرة الباقية بعد خروج الإلكترون منها (الأيون الموجب). [15]

أزواج الأيونات لها ميل طبيعي لإعادة الارتباط فيما بينهما وتكوين الذرات العادية مرة أخرى. وعليه صممت أجهزة الرصد الإشعاعي لقياس هذه الأزواج من الأيونات وفي بعض الأحيان نجد أن الإلكترون المنطلق بعد اصطدام الجسيم الثقيل المشحون بالذرة قد اكتسب كمية كبيرة من الطاقة تكون كافية لأن يحدث هو تأين في ذرات أخرى مجاورة له ويسبب إطلاق الإلكترونات. هذه الإلكترونات ذات الطاقة العالية قد تسمى أشعة دلتا وهي وسيلة ثانوية يفقد بها الجسيم المصادم جزء من طاقته بالإضافة إلى الوسيلة الأساسية التي بها تخرج أزواج الأيونات. ومن المهم أن نذكر أن مدى أشعة دلتا دائماً أقل بكثير من مدى الجسيمات الثقيلة المشحونة. ويمكن قياس العدد الكلي (n) للزوج الإلكتروني - الأيونية الناتجة عن كل من التاين الابتدائي والثانوي، وذلك باستخدام الطرق التجريبية المختلفة. [15]

بمعرفة كل من طاقة الجسيمات المشحونة الساقطة وعدد الأزواج (E) فإنه يمكن حساب القيمة المتوسطة (W) للطاقة اللازمة لتكوين زوج الكتروني - أيوني واحد من العلاقة التالية:

$$W = E/n \dots\dots\dots (2-1)$$

لقد وجد ان قيمة (W) اللازمة لتكوين زوج واحد تعتمد اعتماداً واضحاً على نوع المادة ولكنها لاتعتمد على طاقة الجسيمات الساقطة أو على طبيعة هذه الجسيمات . كما ان قيمة (W) تكون صغيرة جداً فهي تساوي 35 الكترون فولت بالنسبة للهواء في الظروف المعيارية من الضغط ودرجة الحرارة. وهذا يعني أن الجسيمات الساقطة تتعرض لعدد كبير للغاية من

التصادمات قبل ان تتوقف. وعند فقد هذه الكمية الصغيرة من الطاقة في كل تصادم فان الجسيمات الساقطة لا تغير اتجاه مسارها، وهذا هو السبب في ان أثر الجسيمات المشحونة الثقيلة في المادة يكون عبارة عن خط مستقيم. كذلك يلاحظ ان طول الاثر للجسيمات المشحونة الثقيلة يعتمد على طاقة هذه الجسيمات ونوعها ونوع المادة . وبالنسبة للنوع نفسه من الجسيمات والمادة تكون اطول اثار الجسيمات المشحونة الثقيلة واحدة تقريباً طالما كانت طاقتها واحدة. [15]

### 2.3 تفاعل جسيمات ألفا مع المادة:

#### Interaction of alpha particles with matter

عندما تحصل عملية التأين فينشأ مايسمى بالزوج الأيوني (أيون موجب وأيون سالب)، ان كل 34 إلكترون فولت من طاقة الفا يستهلك في تكوين زوج أيوني واحد في الهواء ويتوقف مقدار هذه الطاقة على مقدار جهد التأين الاول للمادة التي تمر من خلالها جسيمات الفا. ان عدد الأزواج الأيونية المتكونه في وحدة الطول من مسار الفا يطلق عليه بالتأين النوعي وتزداد قيمته كلما تباطئت الجسيمه في مسارها ليتوفر الوقت الكافي لتفاعلها مع ذرات المادة وتزداد احتمالية تفاعلها، ان الإلكترونات التي تتبع نتيجة التأين تسمى الإلكترونات الثانوية او اشعة دلتا ان اعلى طاقة للإلكترونات الثانوية تساوي 2.7 kev في حين تتراوح طاقة جسيمات الفا ما بين (4 - 9 Mev). [15,14]

### 2.4 تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع المادة:

#### Interaction of low charged particles with matter

عندما تكون طاقة الإلكترونات (أو البوزترونات) قليلة تفقد هذه الإلكترونات طاقتها بعد إثارة وتأين ذرات المادة. ومن ثم تنتقل الطاقة من هذه الجسيمات إلى المادة بنفس أسلوب انتقال الطاقة من الجسيمات الثقيلة. ولكن نظراً لصغر كتلة الإلكترون تكون سرعته عادة عالية للغاية بالمقارنة بسرعة الجسيم الثقيل ذي الطاقة نفسها. وهذا يعني أن زمن تواجد الإلكترون بالقرب من ذرة معينة من ذرات المادة قصير للغاية مما يؤدي إلى انخفاض احتمال حدوث التأين. لذا فإن مدى

الإلكترون في المادة يكون كبيراً بالمقارنة بمدى الجسيمات المشحونة الثقيلة، حيث يصل مدى الإلكترونات بطاقة 1 إلكترون فولت في الهواء عدة أمتار. [16,14]

## 2.5 تفاعل الإلكترونات السريعة مع المادة:

### Interaction of fast electrons with matter

عندما تكون طاقة الإلكترونات الساقطة (أقل من 1/2 ميغا إلكترون فولت) تفقد هذه الإلكترونات طاقاتها عن طريق إثارة الإلكترونات المدارية لذرات المادة أو تأيين هذه الذرات بنفس أسلوب انتقال الطاقة من الجسيم الثقيل إلى المادة. [14]

وإذا كان من المعروف أن للجسيم الثقيل المشحون بطاقة محددة طريق مستقيم محدد يسلكه في مادة معينة حتى يتوقف فإن الإلكترونات السريعة ذات نفس الطاقة لها عدة طرق متموجة ومختلفة تسلكها داخل نفس المادة، وهذه الانحرافات المختلفة والتي تلاحظ في مسارات الإلكترونات السريعة داخل نفس المادة ترجع أساساً إلى أن هذه الإلكترونات المصادمة لها نفس كتلة الإلكترونات المدارية الموجودة في ذرات المادة التي ستصدم بها. وبالتالي نتوقع أن تفقد الإلكترونات المصادمة جزء كبير من طاقتها في تصادم واحد. هذا بالإضافة إلى أن تفاعل الإلكترونات مع أنوية ذرات المادة (ذات الشحنة الموجبة) والذي قد يحدث أحياناً يسبب تغيير حاد في مسار الإلكترونات. [16,14]

هناك اختلاف هام جداً بين تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة مع المادة وتفاعل الإلكترونات السريعة مع المادة وهو أن فقد الطاقة في حالة الجسيمات الثقيلة المشحونة يكون بالتفاعلات التي تتم بقوى كولوم (المصادمات اللامرنة بين الجسيم والإلكترونات المدارية) وهذا يحدث في حالة تفاعل الإلكترونات السريعة ولكن يحدث معه أيضاً فقد في طاقة الإلكترونات السريعة بتفاعلات إشعاعية ينتج عنها انطلاق أشعة كهرومغناطيسية "أشعة الانكسار" من أي موقع على طول مسار الإلكترونات السريعة في المادة. [14]

ولكن هذا فقد الإشعاعي للطاقة يكون بنسبة قليلة إذا ما قورن بالفقد في إثارة الذرات أو التأين ولا يحدث فقد الإشعاعي لطاقة الإلكترونات السريعة إلا عند اصطدامها بمواد ذات عدد ذري كبير وعندما تكون طاقة هذه الإلكترونات كبيرة بدرجة لا تسمح لها بالتواجد بالقرب من



ذرات المادة لفترة تسمح بأحداث التأين أو الإثارة فيؤدي تعرض هذا الإلكترون للمجال الكهربائي للنواة والإلكترونات المدارية إلى إطلاق أشعة الانكسار. [14,6]

### 2.5.1 فقد الطاقة بالتصادم: Energy loss by collision

عندما تكون طاقة الإلكترونات أو البوزيترونات صغيرة تفقد هذه الإلكترونات طاقتها في إثارة أو تأين ذرات المادة. ونظرا لصغر كتلة الإلكترون تكون سرعته عالية نسبيا لسرعة جسيمات ألفا التي لها نفس الطاقة. وهذا يؤدي إلى انخفاض احتمال التأين لأن زمن تواجد الإلكترون بالقرب من الذرة صغير جدا. [14]

### 2.5.2 فقدان الطاقة بالإشعاع: Energy loss by radiation

عند تصادم الإلكترون السريع مع نويات وإلكترونات المادة يتعرض الإلكترون الساقط للمجال الكهربائي لشحنة النواة أو الإلكترونات المدارية فيؤدي ذلك إلى انبعاث إشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات الانكباح تؤدي إلى فقد الإلكترون لجزء من طاقته ولا يحدث هذا الفقد للطاقة على نواة الذرة فحسب وإنما يحدث كذلك على الإلكترونات المدارية للذرة ، وطيف اشعاعات الانكباح طيف مستمر وهي تصاحب تفكك بيتا كما تصدر عن جميع أنابيب الأشعة السينية عند فقد الإلكترونات لطاقتها على مادة المصعد (الأنود). [14]

ولحساب الطاقة التي يفقدها الكترون في شكل اشعاع انكباح على وحدة الطول من المسار داخل المادة تستخدم العلاقة التالية:

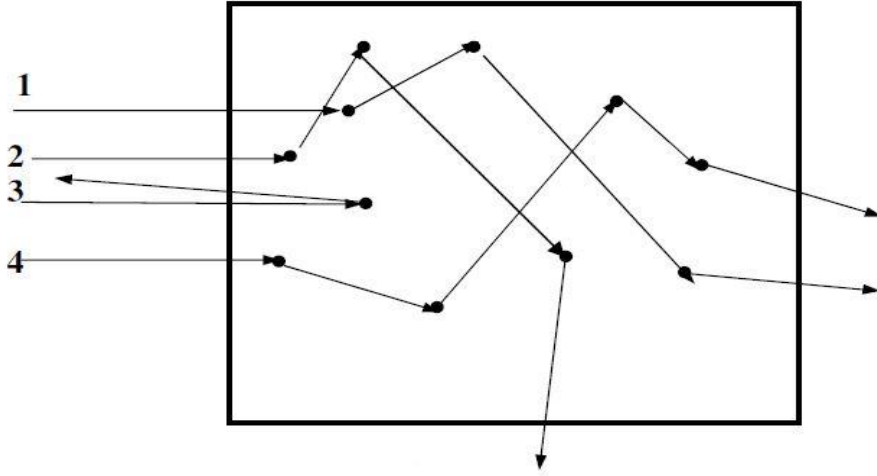
$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}} = \left[\frac{4Z(Z+1)e^4NE}{137m_0^2c^2}\right](\ln 183Z^{-1/2} + 0.125) \dots\dots\dots (2-2)$$

وهذه العلاقة التي تمثل قدرة الايقاف عن طريق الاشعاع صالحة مادامت طاقة الالكترونات أي  $(E \gg m_0c^2)$  اما اذا كانت طاقة الالكترونات صغيرة فانه يمكن اهمال فقد الطاقة عن طريق الشعاع. وهكذا فان قدرة الايقاف الكلية بالنسبة للالكترونات هي: [14]

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{tot}} = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{inel}} + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}} \dots\dots\dots (2-3)$$

### 2.5.3 امتصاص الإلكترونات في المادة: Absorption of electrons in matter

لاحظنا ان سلوك الالكترونات عندما تسقط على المادة يختلف اختلافا كبيرا عن سلوك الجسيمات الثقيلة، وتتمثل بعض نواحي هذا الاختلاف في ان اثر الالكترتون في المادة لا يكون على خط شكل مستقيم كما هو الحال بالنسبة للجسيمات الثقيلة ولكن يكون في صورة كالمبينة بالشكل (2-1)، بالإضافة الى ذلك فان طول اثر الالكترتون يختلف كلياً عن مداه (فالمدى عبارة عن المسافة المستقيمة التي يقطعها الجسيم في اتجاه سقوطه حتى يتوقف). لذا فان مفهوم المدى بالنسبة لالكترتون معين غير وارد. [14]



الشكل (2-1) يوضح اثر الالكترتون في المادة [14]

تتميز الإلكترونات بقدرة عالية على اختراق المادة مقارنة بالجسيمات الثقيلة. وعند سقوط حزمة من الإلكترونات ذات طاقة واحدة على مادة تسمى بالمادة الماصة، وإذا كان سمك هذه المادة غير كافي لامتصاص هذه الالكترونات فان الالكترونات تخرج من الجانب الاخر للمادة بطاقات مختلفة اختلافاً كبيراً، اي ان التبعثر الناتج في طاقة الالكترونات يكون كبيراً للغاية بمقارنته بنظيره في حالة الجسيمات الثقيلة. وعموماً يزداد التبعثر بزيادة سمك المادة الممتصة، بالإضافة الى ذلك يمكن ان تكون زاوية الشنت الناتجة عن التصادم كبيرة بحيث يرتد الالكترتون الى الخلف (الالكترتون رقم 3 في الشكل (2-1) وتعرف هذه الظاهرة بالتشتت الارتدادي أو التشتت للخلف ، ويمكن أن يؤدي هذا التشتت الارتدادي الى زيادة الشدة الاشعاعية المقيسة

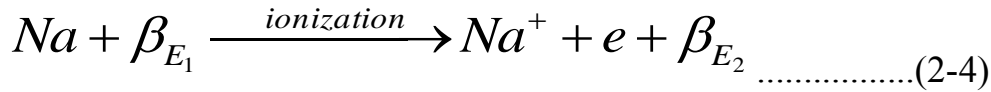
لمصادر بيتا عن الشدة الفعلية، وذلك عند وجود أجسام سميكة بالقرب من المصدر، لذا يجب تقدير قيمة التشتت الارتدادي بعناية عند تحديد القيمة الحقيقية لشدة المصدر. [15,14]

## 2.6 تفاعل جسيمات بيتا مع المادة:

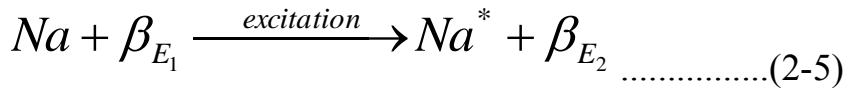
### Interaction of beta particles with matter

اشعة بيتا عبارة عن حزم الكترونية عالية الطاقة وتتفاعل مع المادة من خلال تفاعلها مع الإلكترونات المدارية للذرة وكذلك تفاعلها مع المجال الكهربائي للنواة. تنتج اشعة بيتا الأزواج الايونية وكذلك تحدث للمادة اثاره والفرق الجوهرى بين تفاعل الفا وبيتا مع المادة هو ان اختراق بيتا للمادة اكبر من اختراق الفا لها وذلك لسرعتها العاليه لذلك يمكنها اختراق المدارات الذرية والوصول الى المجال الكهربائي للنواة ونتاج الاشعه السينيه وان التأين النوعي الذي تحدثه بيتا اقل من التأين النوعي الذي تحدثه الفا ، وان اهم العمليات التي قد تحصل عند امتصاص جسيمات بيتا هي: [17]

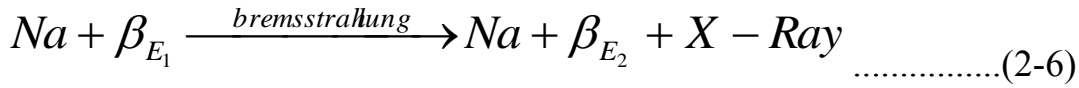
1 - التأين ( انتاج الأزواج الايونيه ): تنتج في هذه الحالة ايون موجب والكترون



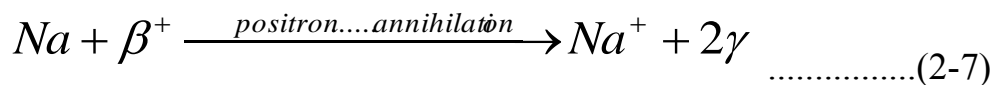
2 - الاثاره: تنتج في هذه الحالة ذره متهيجه غير مستقره



3 - ظاهرة الكبح او الابطاء: تنتج اشعه سينيه ذات طيف مستمر تسمى اشعة التباطؤ



4 - ظاهرة فناء البوزترون: حيث تستخدم بيتا الموجبه (البوزترون) التي تصطدم بالكترون مداري مما يؤدي الى تحولهما الى طاقة على شكل اشعة كاما بشكل اشعاعين باتجاهين متعاكسين ومتساويين وطاقة كل منهما 0.511 Mev

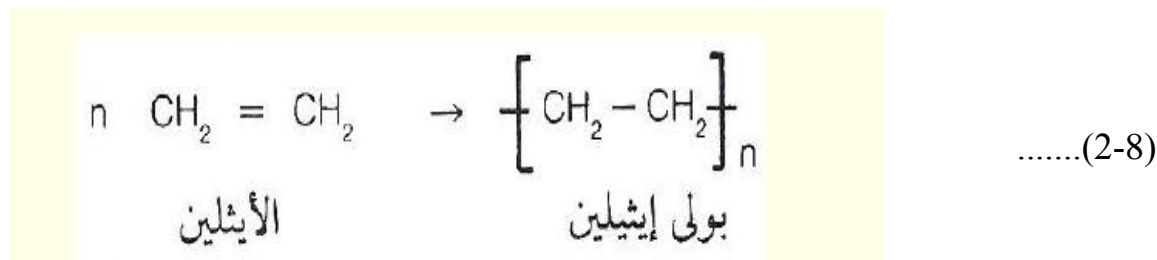


## 2.7 بعض مركبات البوليمرات: compound of polymer

لقد اكتسبت المواد البوليمرية في الاعوام الاخيرة شهرة كبيرة وذلك لتطبيقاتها الواسعة في مجالات الحياة المختلفة ومنها الطبية والهندسية والصناعية ، ويعود السبب في ذلك لامتلاك البوليمر خصائص فريدة من نوعها تضمن سهولة التعامل معها صناعياً، كما انه تمتلك مدى واسع من الخصائص البصرية والكهربية والميكانيكية والتي يمكن التحكم بها عن طريق اجراء بعض المعالجات الفيزيائية والكيميائية المختلفة. [18]

### 2.7.1 البولي ايثيلين: polyethylene(PE)

يعد البولي ايثيلين واحدا من أهم البوليمرات الذي يزداد انتاجه عام بعد عام، وهو مادة ثرمو بلاستيكية ذات لون أبيض ونقطة ليونته تساوي (120-125م). [19] ويأخذ الصيغة الكيميائية الآتية [20] :



يعد البولي ايثيلين احد اللدائن الحرارية الهندسية الذي يمتاز بخصائص ميكانيكية وتوافق حيوي جيد وهو واحد من اكثر البوليمرات ثباتاً، يمتاز بأن لديه درجة أقل من التفرع وينتج باستخدام وسائط كروم / سيليك، وسائط زيغلر-ناتا أو وسائط الميتالوسين. يتم تأمين حدوث عدم التفرع من خلال الاختيار المناسب للوسيط والتحكم بشروط التفاعل. يستخدم هذا البوليمر في التغليف وصناعة المنتجات مثل أواني الحليب ، قوارير المنظفات، علب المنتجات الغذائية، سلال القمامة وصناعة خرطوم المياه. [20]

ينتج البولي ايثيلين في عدة صور أشهرها البولي ايثيلين منخفض الكثافة والبولي ايثيلين عالي الكثافة. [21]

اما البولي ايثيلين مرتفع الكثافة أو منخفض الضغط فقد اكتشف عام 1945 ، وهو يخلو من الوصلات العرضية ، ونسبة التبلور فيه عالي. [1]

ويتم تحضيره عند ضغط في حدود 2 جو، مما يجعل هذه العملية اقتصادية للغاية، وتستخدم درجات حرارة ما بين (50- 70 م) أي اوطأ من درجة انصهار البوليمر نفسه، ويمكن التحكم في الوزن الجزيئي للبوليمر بالتحكم في ظروف التفاعل. [1]

تسمى عملية انتاج البولي ايثيلين عالي الكثافة بعملية زيجلر اذ يستعمل حفاز زيجلر المكون من ناتج تفاعل احد مركبات فلز انتقالي مثل رابع كلوريد التيتانيوم مع مركب عضو فلزي مثل داي ايثيل ألومنيوم مونوكلوريد وهناك طريقة أخرى لانتاج بولي ايثيلين عالي الكثافة تستخدم فيها حفازات أكسيدية من أكاسيد الفلزات مثل أكسيد الكروم المحمل على سيليكات ألومينا، والتي يضاف إليها بعض المنشطات من أكاسيد الفلزات الأخرى مثل أكسيد الحديد وأكسيد النحاس وأكسيد الباريوم [22,23]

في هذه العملية تستخدم ضغوط في حدود 40 جو ، وحرارة 125- 160 م ويضاف الحفاز بنسبة 0.5% وفي عمليات الانتاج يتم تحضير الحفاز في غرفة مستقلة ، تمد المفاعل بكميات صغيرة من الحفاز المذاب في مذيب الهكسان الحلقي كما يغذي المفاعل بايثيلين شديد النقاوة ليعطي ضغطاً من (1-6) جو، وتكون درجة حرارة المفاعل 50 - 70 م. يتكون بولي ايثيلين عالي الكثافة، ثم يسير الى مبخر المذيب ويترسب البوليمر الصلب. [24]

شغلت مادة البولي ايثيلين ذو الكثافة العالية حيزاً كبيراً من اهتمام الباحثين نظراً لما تتميز به هذه المادة من خصائص من حيث المتانة الممتازة في درجات الحرارة المنخفضة، مقاومة ممتازة للصدمات ، قوة شد عالية، مقاومة جيدة ضد الصدأ، لينة في درجات الحرارة العالية نسبياً ومقاومتها محدودة للطقس الخارجي [25,26]، وغالباً ما تستخدم المواد المألثة لتحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية لهذا البوليمر أو الحصول على بوليمر بتكاليف أقل ومن هذه المواد المألثة التالك، كاربونات الكالسيوم، الكاربون الأسود، الكرافيت، الالياف الزجاجية، الميكا .... الخ. [27] وقد لوحظ ان الخصائص الكهربائية والميكانيكية والحرارية تتأثر بشدة وفقاً لنوع المواد المألثة

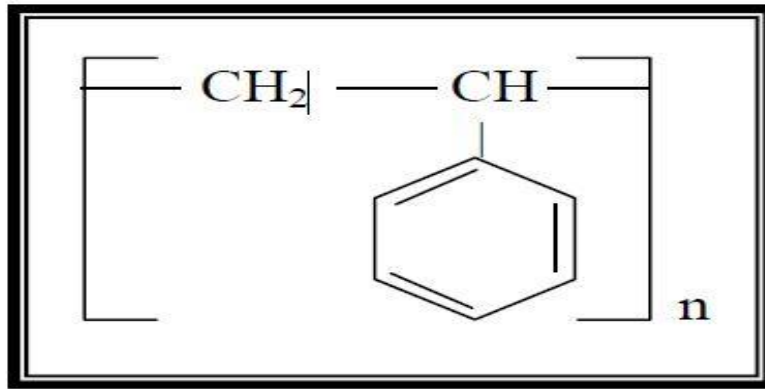
المضافة ، الحجم ، الشكل ، المحتوى، التوزيع وايضا طرق تجهيز هذه المركبات. وبالتالي امكانية الاستفادة من هذه البوليمرات المحسنة في كثير من التطبيقات. [28]

حيث لاحظ (Fouad) وآخرون. [29] عند اضافة جسيمات النانو كرافيت بنسبة معينة الى مادة البولي ايثيلين ذو الكثافة العالية فان المركب الناتج يمتلك خصائص جيدة تجعل منه مادة صالحة الاستخدام من الناحية الطبية.

يستخدم البولي ايثيلين عالي الكثافة لانتاج للاغراض الصناعية بسبب ثباته ومتانته ومقاومته للحرارة مقاومته العالية تجاه المواد الكيميائية والمذيبات وعدم تأثيره أو لعدم امتصاصه للماء [32,31,30].

## 2.7.2 البولي ستيرين: polystyrene(SE)

يعد البولي ستايرين من اهم البوليمرات الصناعية والتجارية في الوقت الحاضر، حيث بدأ انتاجه في اواخر الثلاثينات، وهو من البوليمرات الرخيصة الثمن نسبياً، ويزداد استعماله العالمي يوماً بعد اليوم. [34,33] له قابلية على الذوبان في بعض المذيبات مثل (البنزين، التولوين، تتراهيدروفيوران، سايكلوهيكسان، رابع كلوريد الكربون، الزايلين، الكلورفورم وغيرها من المذيبات). [35] وله مقاومة عالية ضد الماء والاحماض والقمويات، ويأخذ الصيغة الكيميائية الاتية: [36,23]



الشكل (2-2)

حيث :

$n$ : تمثل عدد الوحدات المتكررة من المونومر. [36,23]

وهو من البوليمرات الشفافة سهلة التلوين والتصنيع والتكيف وذات تركيب خطي ومن مساوئه من ناحية الخواص الميكانيكية هي انه هش ولدن حرارياً. [37] ويمكن التغلب على عدد من هذه المساوئ بإضافة عوامل التحوير للبولي ستايرين مثل اضافة مثيل او الفاستايرين لزيادة مقاومته الحرارية، او اضافة المطاط لزيادة المقاومة الميكانيكية، او اضافة مثيل ميثاكريلات لزيادة المقاومة الميكانيكية ولتثبيت الضوء، او مزجه مع البيوتاديين المشترك لاستخدامه في صناعة الافلام واشرطة التسجيل وقناني الاختبار واستخدامات اخرى. [38,22]

أما من الناحية الكهربائية فتمتاز مادة البولي ستايرين بخصائص عزل كهربائية عالية حيث تكون توصيليتها قريبة من الصفر. [39]، لذا تستخدم في معظم الاجهزة الكهربائية مادةً عازلة في اجهزة التيار ذي التردد العالي. [22]

ومن بعض خصائص البولي ستيرين انه عند تأثير الاشعة يسبب له الاصفرار. [40]، وهناك انواع من البولي ستيرين منها البولستيرين الايزوتاكتيكي والذي يمتاز بارتفاع درجة انصهاره. [41]

ويمكن تحسين خواص البولي ستايرين او تغيير بعض منها عن طريق بلمرة الستايرين مع مونمرات اخرى حيث حصل على بوليمرات مشتركة للستايرين ذات خصائص جديدة واستخدامات مختلفة. [42]

وتحدد الكثير من الصفات للبوليمر بمراحل تصنيعه وطريقة التصنيع وتحدد طريقة التحضير بطبيعة البوليمر المراد تصنيعه وشكله النهائي وكذلك ببعض الخصائص الفيزيائية له مثل القوة، الصلابة، الشكل النهائي، درجة انصهاره، درجة تليينه، درجة انتقاله الزجاجي ودرجة تبلوره، ومن الطرق المتبعة في تصنيع البولي ستايرين القولية بالحقن، التصنيع بواسطة الانبثاق و القولية بالكبس. [43]

### 2.7.3 بولي مثيل ميثاكريلات: (PMMA) poly methyl methacrylate

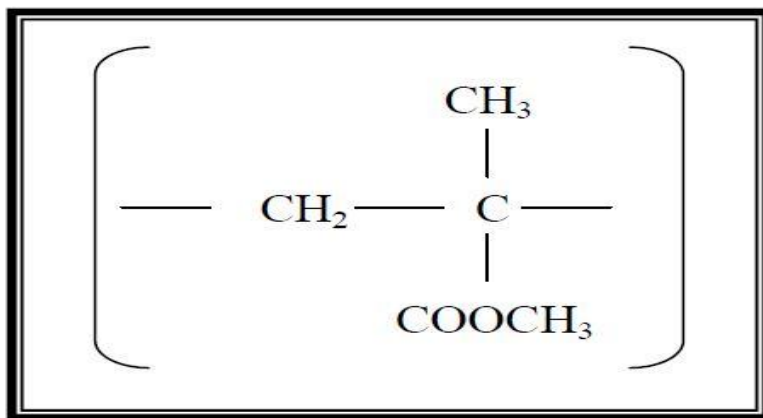
يعد البولي مثيل ميثاكريلات من المواد المهمة صناعياً وهو يسمى بالزجاج العضوي والذي يستخدم بشكل واسع في صنع الاشكال الهندسية و الديكورات وفي البحوث النووية وللأغراض الزراعية واستخدامات اخرى. ويمتاز بالشفافية العالية ويُعدّ مادة عالية البلمرة ولدنة حرارياً

ويمتاز أيضاً بالمتانة ويُعدّ أيضاً من الراتجات الاصطناعية التي يمكن تلوينها بسهولة بألوان مختلفة، وينتج على هيئة شرائح أو صفائح ويُعدّ من البوليمرات القطبية. [44,43]

ويمتاز بخصائص ضوئية جيدة ومقاومة عالية لعوامل الطقس وبصمود جيد ضد الأحماض والقلويات المخففة وكذلك ضد تأثير البنزين والزيوت العضوية، ويذوب في البنزول، التلوين، الكيسرول، الكلوروفورم، وفي بعض المذيبات الأخرى. [44,43]

ويمكن تعريضه لجميع أنواع التشكيل الميكانيكي مثل البرادة والتقب والخراطة [44,43]، ويستعمل لأعداد مفرغات (مضادات للقوس الكهربائي) مرتفعة الفولتية. [45] ويستعمل أيضاً بدلاً من الزجاج الاعتيادي لمقاومته للكسر والمتغيرات الجوية حيث يستخدم بكميات كبيرة زجاجاً واقياً في المختبرات والمصانع والبيوت الزجاجية وفي المنظومات الالكترونية فضلاً عن استخداماته الأخرى في حقل اللواصق. [46]

أما صيغته الكيميائية فهي كالآتي: [23]



الشكل (2-3) [23]

انه يعد من البوليمرات المتفرعة غير المتبلورة والحساسة للإشعة المؤينة ، وقد يسبب تشيعه تكسير الاواصر الكيميائية تكون جذور حرة نشطة مما يؤدي الي انحلاله وان الانحلال يزداد بوجود الاوكسجين اثناء التشيع. [47] ويمكن تقليل الانحلال باضافة بعض المواد المقللة لتأثير الاشعاع له. [48]



## 2.8 النظائر: Isotopes

النظائر هي ذرات أحد العناصر التي تتميز بتطابقها من الناحية الكيميائية، ولكن تختلف في كتلتها، أي أن لديها نفس عدد البروتونات داخل نواتها وعدداً مختلفاً من النيوترونات. [49,8]

وبسبب وجود وفرة طبيعية من النظائر التي تكون المياه والملوثات عامة، مثل نظائر الهيدروجين والأكسجين والكربون والنتروجين ، والتي تشير إلى مصادر المياه واتجاه تحركها تحت سطح الأرض ، فإنه بالإمكان استخدام تلك النظائر كمؤشرات لكل ذلك على الرغم من وجود العديد من النظائر لكل عناصر الأنظمة الهيدروجيولوجية ، إلا أن القليل منها فقط يمثل أهمية عملية. والنظائر البيئية هي تلك النظائر المتواجدة طبيعياً للعناصر الموجودة بوفرة في بيئتنا مثل الكربون، الهيدروجين، الأكسجين، النتروجين والكبريت وهذه هي العناصر الرئيسية للأنظمة الهيدروجيولوجية والجيولوجية والبيولوجية. [49]

تستخدم النظائر الثابتة لهذه العناصر في تتبع دورة كل من الماء والكربون والمغذيات. هذه العناصر جميعها من العناصر الخفيفة ومن ثم كان الفرق في الكتلة بين العنصر ونظيره كبير نسبياً ، مما مكن من تتبع التجزئة الحادثة بين العنصر ونظيره نتيجة وقوعهما تحت تأثير تفاعلات كيميائية وفيزيائية وبيوجيوكيميائية. [49,8]

يبين الجدول التالي بعض العناصر المختارة الموجودة في الطبيعة منها العناصر الخفيفة والنسبة المئوية للنظائر الثابتة المختلفة لكل منها. [8,6]

العناصر	أنواع النظائر الثابتة ونسبتها المئوية في المخلوط الطبيعي	نسبة النيوترونات الى البروتونات في النظائر
$^1\text{H}$ الهيدروجين	$99.985\% (^1\text{H})$ $0.015\% (^2\text{H})$	1.0:0
$^2\text{He}$ هيليوم	$0.0001\% (^3\text{He})$ $99.9999\% (^4\text{He})$	1.0 : 0.5
$^{12}\text{C}$ كربون	$89.9\% (^{12}\text{C})$ $10.1\% (^{13}\text{C})$	1.17 : 1.0

1.25: 1.1: 1.0	%99.762( <sup>16</sup> O) %0.038( <sup>17</sup> O) %0.20( <sup>18</sup> O)	<sup>8</sup> O أكسجين
----------------	--	-----------------------

الجدول (1-1)

تتقسم النظائر الى نوعين يعرف النوع الاول بالنظائر المستقرة بينما يعرف النوع الثاني بالنظائر غير المستقرة أو المشعة، ويبلغ عدد النظائر المستقرة حوالي 300 في حين أنه قد تم الانتاج الصناعي لما يزيد عن 1500 نظير مشع حتى الان، وهناك 21 عنصراً متواجداً طبيعياً في صورة نقية اي بدون اي نظير، وتتقسم النظائر المشعة الى نظائر طبيعية موجودة في الطبيعة واخرى صناعية تمكن الانسان من انتاجها ليستخدمها في الاغراض المختلفة. [8,6]

يتم انتاج النظائر المشعة المختلفة عن طريق تعريض (تشعيع) النظائر المستقرة لسيل من الجسيمات النووية كالنيوترونات أو الديوترونات أو جسيمات ألفا وغيرها. وتستخدم لهذه الغرض المفاعلات النووية أو مولدات النيوترونات كمصدر للنيوترونات في حين تستخدم المعجلات النووية كمصدر للجسيمات المشحونة كالبروتونات والديوترونات و جسيمات ألفا وغيرها. [8,6]

## 2.9 مدى الجسيمات الثقيلة المشحونة: Range of heavy charged Particles

المقصود بكلمة المدى هو مدى نفاذ الجسيمات الثقيلة المشحونة أو هو عبارة عن المسافة المستقيمة التي يقطعها الجسيم في المادة إلى أن يتوقف تماماً، ولقد وجد أنه بزيادة سمك المادة التي تدخل إليها الجسيمات الثقيلة المشحونة يقل المدى. هذا وقد يستخدم قياس للمدى يسمى المدى المتوسط وهو السمك من المادة الذي يسمح بمرور نصف عدد الجسيمات المنطلقة من مصدر معين ومن المعروف أن مدى الجسيمات المشحونة ذات طاقة معينة في مادة معينة يكون محدد بدقة ويختلف باختلاف المادة أو طاقة الجسيم. [14]

ومن جهة أخرى فإن الوقت المطلوب لإيقاف أي جسيم مشحون تعد اختراقه مادة ما يمكن استنتاجه بمعرفة مدى هذا الجسيم في هذه المادة وسرعة اختراقه لها. وبصفة عامة فإن الجسيمات المشحونة تفقد طاقتها بمعدل كبير جداً قبيل نهاية مداها في المادة، وبصفة عامة يجدر الذكر أن مدى الجسيمات الثقيلة المشحونة صغير حيث لا يزيد عن 3.5 سنتيمتر في الهواء لجسيمات ألفا ذات طاقة تساوي خمسة مليون إلكترون فولت وعليه يمكن القول أن قدرة هذه

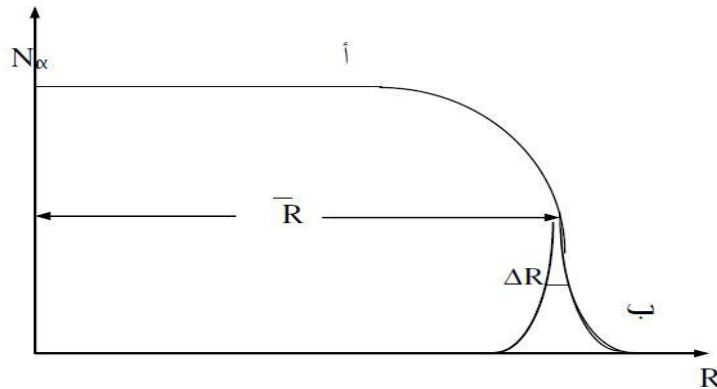
الجسيمات على الاختراق تعتبر صغيرة نسبياً ولا تحتاج إلى حواجز سميكة لإيقافها والوقاية منه [14].

## 2.10 مدى جسيمات ألفا: Range of Alpha Particles

باعتبار أن جسيمات ألفا هي ذرات هيليوم متأينة وتحمل شحنتين موجبتين فإنها تفقد جزءاً صغيراً من طاقتها في كل اصطدام مع الكثران ، كما أنها لا تنحرف بعد الاصطدام لتقلها النسبي ، وبذلك تكون مساراتها في خطوط مستقيمة في المادة. [15]

ونظراً إلى أن كل جسيمات ألفا الصادرة عن نفس النظير المشع لها نفس الطاقة باعتبار أنها جميعاً تنطلق بعد أن تتغلب على نفس حاجز الطاقة حول النواة وباعتبار أن جسيمات ألفا تحتاج لعدد كبير من الاصطدامات لكي تفقد كل طاقتها الابتدائية التي تبلغ حوالي عدة ملايين الكثران فولت حتى تصل إلى حالة السكون فإن مدى جميع جسيمات ألفا التي لها نفس الطاقة الابتدائية يكون متساوياً في حدود ضيقة. [15]

وعند قياس مدى جسيمات ألفا في الهواء (وذلك بقياس عدد جسيمات ألفا التي تسجل عند مسافات مختلفة من مصدر هذه الجسيمات شريطة أن تكون جسيمات ألفا الخارجة من المصدر في شكل حزمة ضيقة ومتوازية) تكون الصورة المبينة في الشكل (1-3) بالمنحنى (أ) وبتفاضل هذا المنحنى ينتج منحنى جديد (ب) يعرف باسم المنحنى التفاضلي للتبعثر وهو يوضح طبيعة التبعثر في المدى. ويسمى المقدار (R) المبين بالشكل بالمدى المتوسط ويعتبر نصف العرض ( $\Delta R$ ) للمنحنى ب [14]



## ب- المنحنى التفضلي للتبعثر

ان تحديد مدى الجسيمات بشكل دقيق لا يخلو من صعوبة بسبب وجود فروق احصائية في

مقدار الطاقة المفقودة في وحدة طول المسار  $\left(\frac{dE}{dx}\right)$  [50]

ويعرف المدى بدلالة قدرة الايقاف كالاتي: [45]

$$R = \int_E^0 dx = \int_E^0 \frac{dE}{dE/dx} dx = \int_0^E \frac{1}{dE/dx} dE = \int_0^E \frac{d}{S.N} \dots \dots \dots (2-9)$$

ومن الملفت جداً ان محاولة حساب معدل مسافة انتقال حزمة من الجسيمات في وسط بواسطة تكامل قدرة الايقاف كدالة لطاقة الجسيمات الساقطة أي يجعل الحساب النظري للمدى مهمة صعبة جداً [52,51]

$$R(T) = \int_0^T [-dE/dx]^{-1} dE \dots \dots \dots (2-10)$$

لذلك عدد من العلماء توجهوا الى المعادلات التجريبية لحساب تلك الكمية وعدلوا على اساس نتائجهم Bragg and Kleeman اعطو صيغة لحساب مدى الجسيمة في وسط اذا كان مداها معلوم في وسط اخر: [53]

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left[ \frac{A_1}{A_2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2-11)$$

اذ أن:

$\rho_1, \rho_2$  يمثلان كثافة الوسط الاول والثاني  $A_1, A_2$  العدد الكتلي للمواد . ولجسيمتين مشحونتين بالسرعة نفسها الابتدائية  $\beta$  ، النسبة بين مدياتها هو ببساطة: [54]

$$\frac{R_1(\beta)}{R_2(\beta)} = \frac{Z_2^2 M_1}{Z_1^2 M_2} \dots \dots \dots (2-12)$$

اذ ان  $M_2, M_1$  هو الكتلة السكونية و  $Z_2, Z_1$  هو العدد الذري لكلا الجسيمتين. اذا كانت الجسيمة المشحونة الثانية هي البروتون ( $Z_2 = 1, M_2 = 1$ ) فبالامكان كتابة المدى للجسيمة الاخرى كالتالي:

$$R(\beta) = \frac{M}{Z^2} R_P(\beta) \dots \dots \dots (2 - 13)$$

اذ ان  $R_P(\beta)$  هو مدى البروتونات ( $M, Z$ ) و كتلة وشحنة الجسيمة الاخرى على التوالي . هناك عدة صيغ تجريبية وشبه تجريبية لغرض حساب مدى جسيمات الفا في الهواء منها: [55,50]

$$R_{\alpha}^{air} (mm) = \begin{cases} e^{1.61\sqrt{E_{\alpha}}} & \text{For } E_{\alpha} < 4\text{MeV} \\ (0.05E_{\alpha} + 2.85) & \text{For } 4 \text{ Mev} \leq E_{\alpha} \leq 15\text{MeV} \end{cases} \quad (2 - 14)$$

و

$$R_{\alpha}^{air} (mm) = \begin{cases} 0.56E_{\alpha} & \text{For } E_{\alpha} < 4\text{MeV} \\ 1.24E_{\alpha} - 2.62 & \text{For } 4 \text{ Mev} \leq E_{\alpha} \leq 8\text{MeV} \end{cases} \quad (2 - 15)$$

بالامكان التنبؤ بمدى جسيمات ألفا في الهواء بطاقة بين (4-7Mev) باستعمال صيغة معدلة للمعادلة (7) وكالاتي: [56]

$$R_{air} = 0.3E^{3/2} \quad (2 - 16)$$

حيث ان  $E$  تمثل طاقة الجسيم المشحون، ان مدى جسيمات ألفا في المواد الاخرى كالسوائل والصلب (عدا الهواء) يكون اقصر بسبب كثافتها العالية، فضلاً عن عدد التصادمات للجسيمات

الحاصلة على طول مسار الانتقال. ان مدى جسيمات ألفا في السوائل والصلب يقرب بالمقارنة مع المدى في الهواء طبقا الى الصيغة:

$$R(\text{cm}) = 0.00032(A^{1/2}/\rho)R_{\text{air}} \quad (2 - 17)$$

حيث ان :

$A$  هو الوزن الذري للوسط الماص و  $\rho$  هي كثافة الوسط الماص بـ  $\text{mgcm}^{-3}$  و  $R_{\text{air}}$  هي معدل المدى الخطي لجسيمة الفا في الهواء. اذا ضربنا المدى الخطي لجسيمات ألفا المقاس بـ  $\text{cm}$  في الاوساط الماصة بكثافة الماص بوحدات  $\text{mgcm}^{-3}$  فان مدى جسيمات ألفا في الوسط الماص بالامكان التعبير عنه بوحدات  $\text{mgcm}^{-2}$  كالآتي :

$$R(\text{mgcm}^{-2}) = [R(\text{cm})]\rho \quad (2 - 18)$$

اذا  $R(\text{mgcm}^{-2})$  هو مدى جسيمات الفا بوحدات  $\text{mgcm}^{-2}$  اي بوحدات السمك الكتلي . علي اي حال من الناحية التجريبية نري انه باستثناء بعض الحالات المعينة فان جسيمات ألفا المنطلقة من نويدة ما لها طاقات ومديات متماثلة ويعد ذلك من العلامات الفارقة لتلك النويدة . ولقد وجدت بالتجربة ان مديات تلك الدقائق تصل الى  $9.3\text{cm}$  في الهواء بدرجة  $15^\circ$  وضغط  $750\text{mm}$  وفي هذه الظروف وجد ان المدى يتناسب طرديا مع مكعب سرعة الجسيمة [57]. مدى جسيمات الفا فضلا عن الجسيمات المشحونة الاخرى مثل البروتونات والديوترونات والتي تفقد طاقتها في عناصر الوسط الماص ذات العدد الذري  $Z > 10$  بوحدات السمك الكتلي للماص يمكن ان تحسب مباشرة بمقارنتها مع المدى المحسوب لنفس الجسيمات المشحونة وبالطاقة نفسها في الهواء طبقا للصيغة الآتية [57,55] :

$$\frac{R_z}{R_{\text{air}}} = 0.90 + 0.0275 Z + (0.06 - 0.0086 Z) \log \frac{E}{M} \quad (2 - 19)$$

اذ ان  $R_z$  هو مدى الجسيمات المشحونة بوحدات السمك الكتلي  $R_{\text{air}}$  هو مدى الجسيمات المشحونة في الهواء بوحدات السمك الكتلي نفسها .  $Z$  هو العدد الذري للعنصر الماص ، طاقة الجسيمة بوحدات هو العدد الكتلي للجسيمة (مثلا 1 للبروتونات 2 للديوترونات ، 4 لجسيمات الفا) . الصيغة في اعلاة يمكن تطبيقها علي الجسيمات المشحونة لمدى واسع من الطاقات تقريبا ضمن مدى  $(0.1-1000\text{Mev})$  وللعناصر الماصة ذات العدد الذري  $Z > 10$  اما بالنسبة

للعناصر الماصة الخفيفة فان الحد  $0.0275+0.90$  يستبدل بالقيمة  $1.00$  باستثناء الهيدروجين والهيليوم نستخدم القيمة  $0.30$  و  $0.82$  علي التوالي .  
وبالنسبة لجسيمات الفا فقط يمكن حساب المدى بوحدات السمك الكتلي طبقا الي المعادلة الموصوفة [55] كالآتي :

$$R(\text{mg cm}^{-2}) = 0.173E^{3/2} A^{1/3} \dots\dots\dots (2 - 20)$$

اذ ان  $E$  هي طاقة جسيمة الفا بوحدات  $\text{Mev}$  و  $A$  هو الوزن الذري للوسط الماص . تحديد المدى بوحدات  $\text{mgcm}^{-2}$  للوسط الماص بالامكان تحويله الي المدى الخطي بوحدات  $\text{cm}$  في نفس الوسط الماص والذي كثافته  $\rho$  بالعلاقة الآتية :

$$R(\text{cm}) = R(\text{mgcm}^{-2})/\rho \dots\dots\dots (2 - 21)$$

عندما يكون الوسط الماص ليس عنصرا نقياً بل مزيجاً جزئياً (كالماء والورق وبولي اثيلين ... الخ) او خليطاً من عناصر مثل السبائك ، فالمدى لجسيمات الفا في الوسط الماص يحسب طبقا الي المعادلة في ادناه بالاعتماد علي اساس الاوزان الذرية للعناصر والنسبة المئوية لمكونات المادة الماصة ، بعبارة اخرى الكسر الوزني لكل عنصر من الوسط الماص . فالمدى بوحدات السمك الكتلي لجسيمات ألفا في المركبات او العناصر أو المخاليط تحسب طبقاً الي المعادلة الآتية

$$\frac{1}{R(\text{mgcm}^{-2})} = \frac{W_1}{R_1} + \frac{W_2}{R_2} + \frac{W_3}{R_3} \dots\dots + \frac{W_n}{R_n} \dots\dots\dots (2 - 22)$$

اذ ان  $W_1$  ،  $W_2$  ،  $W_3$  ، ..... ،  $W_n$  هو الوزن الجزئي لكل عنصر في الوسط الماص  $R_1$  ،  $R_2$  ،  $R_3$  ، ..... ،  $R_n$  هي المدى بـ  $\text{mgcm}^{-2}$  لجسيمات ألفا لكل عنصر من عناصر الوسط الماص . المعادلة (14) تسمى قاعدة براك لجمع المدى والتي يمكن كتابتها كالآتي [58]:

$$\frac{1}{R_c} = \sum_i \frac{W_i}{R_i} \dots\dots\dots (2 - 23)$$

حيث أن :

$R_i$  ،  $R_c$  المدى في المركب والعنصر على التتابع و  $W_i$  الوزن الجزيئي للعنصر . ان حساب المدى في المركبات بالاعتماد على قاعدة براك للجمع يزداد الاعتماد عليه عند الطاقات العالية اذ ان تلك القاعدة غير دقيقة عند الطاقات المتوسطة والواطئة وجزء من عدم الدقة هذه يعزى الى ان قدرة ايقاف براك ضمن هذا المدى تكون غير دقيقة. [58]

## 2.11 مدى الإلكترونات السريعة: Range fast electrons

أن اصطلاح المدى للإلكترونات السريعة يكون أقل تعبيراً ومعنى منه في حالة الجسيمات الثقيلة المشحونة ( الذي سبق أن تعرضنا له ) وذلك لأن طول الممر الذي تسلكه الإلكترونات السريعة يكون أكبر بكثير من المسافة التي قد تنفذ إليها الجسيمات الثقيلة في أي مادة. ولكن يمكن حساب مدى الإلكترونات السريعة بعمل رسوم بيانية تمثل العلاقة بين سمك المادة وكمية الإلكترونات التي تمر من هذا السمك ومنها يمكن حساب السمك الذي لن يمر منه أي إلكترون فيكون هذا هو المدى . [14]

وفي حالة مقارنة مدى الجسيمات الثقيلة المشحونة والإلكترونات السريعة التي لها نفس كمية الطاقة فإننا نجد أن الفقد النوعي للطاقة يكون منخفض جدا في الإلكترونات السريعة. [59,14]

لذا نتوقع أن مدى الإلكترونات السريعة في مادة معينة يزيد مئات المرات عن مدى الجسيمات الثقيلة المشحونة في نفس المادة . وفي هذا الصدد نجد أن مدى الإلكترونات يبلغ ملي مترين لكل واحد مليون إلكترون فولت طاقة في المواد ذات الكثافة المنخفضة ويبلغ واحد ملي متر لكل واحد مليون إلكترون فولت طاقة في المواد ذات الكثافة المتوسطة وفي الهواء نجد أن مدى الإلكترونات ذات الطاقة واحد إلكترون فولت أكثر من عدة أمتار [60,14] .

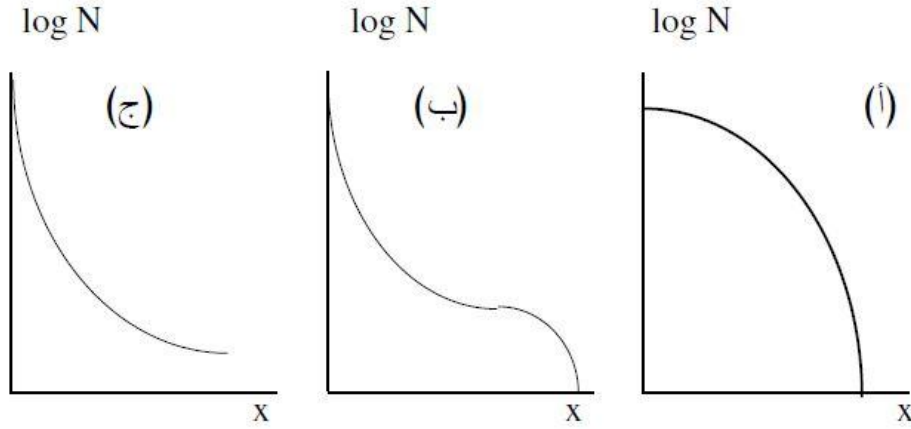
### 2.11.1 تحديد مدى الالكترونات من منحنى الامتصاص :

## Range determination from the absorption cure

ان مفهوم المدى لالكترون معين غير وارد ، اما بالنسبة لعدد كبير من الالكترونات فانه يمكن تحديد المدى تجريبا ولهذا الغرض يجب قياس عدد الجسيمات  $N$  كدالة من سمك المادة الممتصة  $X$  . ولتنفيذ ذلك يتم تثبيت كل من مصدر جسيمات بيتا والكاشف على مسافة مناسبة وتوضع بينهما ألواح من المادة المعينة ذات كثافة مختلفة ويتم قياس معدل العد عند كل سمك .



ويزداد السمك حتى تصبح معدل العد مساويا للصفر ثم ترسم العلاقة بين كل من  $N$  ،  $X$  على ورق نصف لوغاريتمي ويعرف المنحنى الناتج بمنحنى الامتصاص . ويبين الشكل (2-3) ثلاثة منحنيات امتصاص لثلاثة من مصادر بيتا مختلفة . الاول (أ) يمثل منحنى الامتصاص لمصدر بيتا نقي يصدر طيفا واحدا من جسيمات بيتا ، والثاني (ب) يمثل منحنى الامتصاص لمصدر بيتا مركب اي يصدر عدة اطراف من جسيمات بيتا ، والثالث (ج) فهو يمثل منحنى الامتصاص لمصدر بيتا يصدر في الوقت نفسه اشعاعات جاما . الشكل (2-5)



أ-منحنى امتصاص لمصدر بيتا نقي ، ب- منحنى امتصاص لمصدر بيتا مركب  
ج- منحنى الامتصاص لمصدر بيتا يصدر في الوقت نفسه اشعاعات جاما

التي تمثل في هذا المقياس خطا مستقيما وعموما يعتمد شكل منحنى الامتصاص المحدد تجريبا على الوضع الهندسي للكاشف وعلى نوع مصدر بيتا . ولكن هذه العوامل لا تؤثر كثيرا على المدى الذي يمكن تحديده تجريبا من نقطة تلاقي المنحنى بالمحور اي عندما يصبح عدد الجسيمات مساويا للصفر . وعموما يصعب تحديد هذه النقطة لسببين :  
السبب الاول وجود خلفية اشعاعية من جسيمات بيتا من مصدرها الاشعة الكونية او اي مصادر اخرى بعيدة . والسبب الثاني وجود نسبة من اشعاعات جاما صادرة من المصدر نفسه (المنحنى ج) او في شكل خلفية اشعاعية . وتضيف الخلفية الاشعاعية ذيلا الى منحنى الامتصاص كالمبين في شكل (ج) لذا فانه يجب ان تطرح قيمة الخلفية الاشعاعية من جميع القراءات حتى يسهل ايجاد نقطة النهاية للمنحنى [61,14] .

## 2.12 مدى جسيمات بيتا: Range of beta Particles

مدى جسيمات بيتا يعبر عنه بالجرام/سم 2 من المادة الماصة ويمكن تحويل المدى الى سمك المادة الماصة اذا كانت كثافة الماص معروفة (جم سم-3) وهناك عدد من المعادلات التجريبية التي تحدد المدى (R) كما يلي :

$$\text{اذا كانت : } 0.8\text{Mev} < E, \text{ تكون } R=0.542, \text{ } E^{-0.133},$$

$$\text{واذا كانت : } 0.15 < E < 0.8\text{Mev}, \text{ تكون } R=0.407, \text{ } E^{1.38},$$

حيث R هي مدى جسيمات بيتا بالجرام /سم 2 ، E هي الطاقة العظمى بالمليون الكترون فولت

[59,6].

## 2.13 قدرة الايقاف: Stopping Power

ان قدرة ايقاف المادة والنااتجة من مرور الجسيمات المشحونة من خلالها تعد موضوعا مهما ليس فقط في مجال الفيزياء وانما يشمل مساحات واسعة من العلوم فلها تطبيقات طبية وصناعية كأستخدام الاشعاع لقتل الاورام وكذلك استخدامها في الفضاء والصناعة ومنها الأجهزة الالكترونية وغيرها من الاستخدامات المهمة. وان قدرة الايقاف (Stopping Power) تعرف على انها مقدار الطاقة التي يفقدها الجسيم في كل وحدة طول من مساره خلال الوسط الموقوف لذلك فأن عملية فقدان الطاقة للجسيم المشحون المار خلال مادة الهدف يجب ان تكون بدقة عالية من خلال القياس العملي المباشر او من خلال الحساب النظري ودراسة خاصية مادة الهدف وكيفية استجابتها للتفاعل مع الجسيمات المشحونة [62] لذلك فأن الجسيمة المشحونة عندما تنتقل خلال المادة فأن تفاعلها مع ذرات الهدف ناتج عن قوى الكترومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة وذلك التفاعل يقسم الى قسمين :تصادمات مرنة مع كل الذرات وتصادمات غير مرنة مع الكترونات مادة الهدف ولما كانت السحابة الالكترونية في الذرة تحتل حيزا أكبر من نوى الذرات لذا فأن فقدان الطاقة الناتج عن التصادمات الغير مرنة من المتوقع ان يكون أكبر من فقدان الطاقة المرنة [63] .

توصلت الدراسات المبكرة لفقدان طاقة الجسيمات المشحونة للمادة الى الصيغة العامة لقدرة الايقاف [64] .

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 NZ_2}{m_e v^2} Z_1^2 L \dots \dots (2-24)$$

إذ  $N$  كثافة الهدف،  $Z_2$  العدد الذري للهدف،  $me$  كتلة الإلكترون و  $v$  و  $Z_1$  هي سرعة وشحنة القذيفة على التوالي و  $L$  يدعى (عدد الإيقاف) سواء كان الميكانيك الكلاسيكي أو الكمي مطبقا .  
 ان قدرة الايقاف الالكترونية يمكن ان تعرف على انها عملية فقدان الطاقة للجسيمات والايونات المشحونة خلال وحدة المسار وان عملية حسابها اعتمدت على عوامل اساسية للجسيم الساقط ومادة الهدف من خلال السرعة ( $v$ ) والشحنة ( $z_1 e$ ) والكتلة ( $M$ ) بالنسبة للجسيم الساقط وكذلك على صفة ذلك الهدف (أي مادة الهدف) فلذلك تختلف عملية فقدان الطاقة من خلال طبيعة ونوع الجسيم الساقط [65] .

حيث تم الاعتماد على اهم النظريات التي درست قدرة الايقاف الالكترونية ومنها النظرية الكلاسيكية لـ Bohr التي درست فقدان طاقة الجسيمات الحركية بصوره تدريجية الى جزيئات الوسط وعبر تصادمات عديدة التي تتم عن طريقها فقدان الطاقة ومنها التصادمات غير المرنة التي تحدث عند الطاقات العالية للجسيم حيث يحصل التصادم بين الايونات الثقيلة الساقطة والكترونات ذرات الوسط المادي وكذلك التصادمات المرنة التي تحصل عند الطاقات الواطئة للجسيم حيث يحصل تصادم بين الايونات الثقيلة ونوى الذرات الذي يكون مهمل [66] وبما ان التصادمات الغير مرنة لها الدور الفعال في دراسة عملية فقدان قدرة الايقاف الالكترونية (التصادم الالكتروني) والتي يمكن كتابتها بالشكل الاتي:- [64]

$$S = \frac{4\pi Z_1^2 Z_2 e^4}{mv^2} \ln \frac{Cmv^3}{Z_1 e^2 w} \dots\dots\dots(2-25)$$

أذ انه من خلال المعادلة المذكورة أعلاه يتم حساب قدرة الايقاف الالكترونية عن طريق معرفة

عناصرها أذ ان:-

$$e^4 = (4\pi\epsilon_0 m_e c^2 r_0)^2$$

$m_e$  كتلة الإلكترون

$$[67] \quad r_0 = 2.817941 \times 10^{-13} \text{cm}$$

وعن طريق اضافة التعويضات عن العناصر في المعادلة (25) نستطيع ان نكتب المعادلة أعلاه بصيغة أخرى وكالاتي:-

$$S = K \frac{Z_1^2 Z_2}{\beta^2 A} L_{Bohr} \dots\dots\dots(2-26)$$

أذ ان:-

$$L_{Bohr} \text{ هو لوغارتيم الكمية } \frac{Cm_e v^3}{Z_1 e^2 \omega}$$

A هي العدد الكتلي للوسط الماص.

$$\beta = \frac{v}{c} \text{ حيث ان } v \text{ هي سرعة الفذيفة, } c \text{ هي سرعة الضوء وتساوي } 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

C=1.229 حيث أن C كمية ثابتة.

$$k = 4\pi r_0^2 m_e c^2 \text{ حيث ان القيمة } k = 0.307075 \text{ وبمقدار ثابت يساوي}$$

ومن ناحية أخرى تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية كميًا حيث حصل Bethe على حل مناسب لسرع الايقاف العالية بأستعمال تقريب Born الأول الذي أدخل النظام الفيزيائي في اعتبارات مكتمه حيث عالج فيها التفاعل بين الجسم الساقط والكترونات مادة الهدف [68] ويمكن كتابة معادلة Bethe بالشكل الآتي:-

$$S = \frac{4\pi Z_1^2 e^4 Z_2}{mv^2} L_{Bethe} \dots\dots\dots(2-27)$$

ونستطيع أن نكتب المعادلة(16) بالشكل الآتي:-

$$S = K \frac{Z_1^2}{A\beta^2} Z_2 L_{Bethe} \dots\dots\dots(2-28)$$

أذ ان:-

$$L_{Bethe} = \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} - \beta^2 \dots\dots\dots(2-29)$$

حيث ان:-

$$\gamma = \frac{1}{1-\beta^2}$$

وقدر Bloch الاختلاف بين العلاقة الكلاسيكية لـ Bohr والميكانيك الكمي لـ Bethe من خلال علاقة الجسيمات المشحونة مع السرعة التي تكون أكبر بكثير من سرع الالكترونات الساقطة [69]

وعليه تمثل علاقة قدرة الايقاف الالكترونية لـ Bethe\_Bloch بأستعمال العلاقة التالية

$$S = \frac{4\pi Z_1^2 e^4 Z_2}{mv^2} L_{Bloch} \dots\dots\dots(2-30) \quad :[70]$$

وعندما تكون المادة في شكل مركب كيميائي لعدة عناصر فإنه يجب ايضاح ان طاقة الروابط الكيميائية بين العناصر المختلفة تعتبر مهملة ولا تشكل اي اثر على قدرة الايقاف للمادة المكونة من عدة عناصر . لذا فإنه عندما تكون المادة الممتصة في شكل مركب كيميائي تعتبر قدرة الايقاف في المركب مساوية لمجموع قدرات الايقاف في كل مادة على حدة مع الاخذ في الاعتبار نسب المواد في المركب اي ان قدرة الايقاف في المادة المركبة هي [14]:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{comp} = N_1 / N_0 (-dE / dx)_1 + N_2 / N_0 (-dE / x)_2 + \dots \dots \dots (2-31)$$

حيث  $(-dE/dx)_{comp}$  هي قدرة الايقاف للمادة المركبة ،  $(-dE/dx)_1$  ،  $(-dE/x)_2$  هي قدرات الايقاف في المواد الاولى والثانية و..... المكونة لهذا المركب ،  $N_0$  عدد ذرات المركب لكل 1سم<sup>3</sup> و  $N_1$  ،  $N_2$  عدد ذرات المادة الاولى والثانية لكل 1سم<sup>3</sup>.

## 2.14 اشتقاق الكتلة النسبية حسب النظرية النسبية الخاصة:

### derivation of relativity mass to special relativity theory

حسب قانون نيوتن الثاني للحركة القوة المؤثرة F يتناسب طردياً مع الكتلة m والعجلة a حيث [72,71]:

$$F = ma \dots \dots \dots (2 - 32)$$

هكذا يعطى الجهد v بـ

$$V = m\phi = \int F. dx = \int madx = ma \int dx = max$$

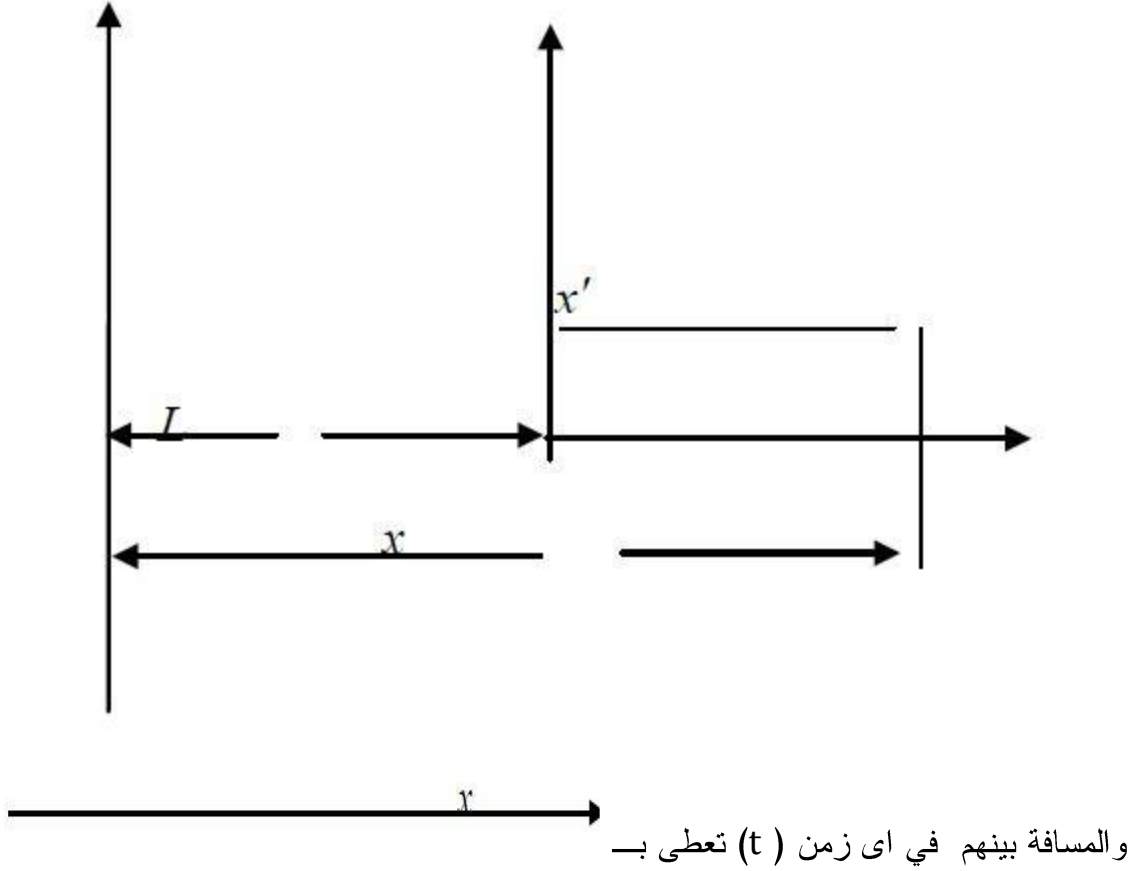
$\phi$  حيث يعرف بالجهد لوحدة الكتلة هكذا

$$m\phi = max$$

لذلك

$$\phi = ax \dots \dots \dots (2 - 33)$$

بوضع الاطارين (x, t) و (x', t') مع الحركة الابتدائية بالسرعة (v<sub>0</sub>) والعجلة (a) ثابتة



$$L = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$L = v_0 t + \frac{1}{2} \frac{a x}{x} t^2 \dots \dots \dots (2 - 34)$$

باستخدام المعادلة (34) يمكن كتابة المعادلة (35) كالتالي :

$$L = v_0 t + \frac{\emptyset}{2x} t^2 \dots \dots \dots (2 - 35)$$

هذا الطول المقاس فوق (0) بافتراض ( $v_0$ ) و ( $\emptyset$ ) يتبع لنفس الطول فوق ( $O'$ ) يعطى بـ

$$L' = v_0 t' + \frac{1}{2} a t'^2 = v_0 t' + \frac{1}{2} a \frac{x'}{x} t'^2$$

$$L' = v_0 t' + \frac{1}{2} \frac{a \emptyset}{x'} t'^2 \dots \dots \dots (2 - 36)$$

في الفراغ يمكن احداث زمن في الاطارين ان يوصف من تحويلات لورنتز وحسب تحويلات لورنتز

$$x' = \gamma(x + l) = \gamma \left( x + v_0 t + \frac{\emptyset}{2x} t^2 \right) \dots \dots \dots (2 - 37)$$

$$x = \gamma(x' + l') = \gamma \left( x' + v_0 t' + \frac{\emptyset}{2x'} t'^2 \right) \dots \dots \dots (2 - 38)$$

باعتبار الان ان مصدر الضوء الذي يبعث نبضة خفيفة في الاطارين  
 $t = t' = 0$

ان النبضة الذي يسير لمسافات مبعوثة من  $(x', x)$  حيث  
 $x = ct$  ،  $x' = ct'$  ..... (2 - 39)

اي (39) في (37) ينتج :

$$ct' = (ct + v_0 t + \frac{\emptyset}{2ct} t^2)$$

$$t' = \gamma \left[ \left( 1 + \frac{v_0}{c} \right) t + \frac{\emptyset}{2c^2} t \right]$$

$$t' = \gamma \left[ \left( 1 + \frac{v_0}{c} \right) + \frac{\emptyset}{2c^2} \right] t \quad (2-40)$$

بتعويض ايضاً (39) في (38) يعطي :

$$ct = \gamma \left[ ct' - v_0 t - \frac{\emptyset}{2ct} t'^2 \right]$$

$$t = \gamma \left[ 1 - \frac{v_0}{c} - \frac{\emptyset}{2c^2} \right] t' \quad (2 - 41)$$

من (40) و (41)

$$t = \gamma^2 \left[ 1 + \frac{v_0}{c} + \frac{\emptyset}{2c^2} \right] \left[ 1 - \frac{v_0}{c} - \frac{\emptyset}{2c^2} \right] t$$

لذا

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{v_0}{c} + \frac{\emptyset}{2c^2}\right) \left(1 - \frac{v_0}{c} - \frac{\emptyset}{2c^2}\right)}} \quad (2 - 42)$$

انه ممتع جداً ملاحظة عندما لا يوجد مجال

$$\emptyset = 0 \quad (2 - 43)$$

العامل ( $\gamma$ ) في المعادلة (42) يصبح

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{v_0}{c} + \frac{\emptyset}{2c^2}\right) \left(1 - \frac{v_0}{c} - \frac{\emptyset}{2c^2}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (2 - 44)$$

بتوجيه علاقة النسبية الخاصة في ادخال المعادلة (42) في (37) و (38)

نتحصل على

$$x' = \frac{x + v_0 t + \frac{\emptyset}{2x} t^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{v_0}{c} + \frac{\emptyset}{2c^2}\right) \left(1 - \frac{v_0}{c} - \frac{\emptyset}{2c^2}\right)}} \quad (2 - 45)$$

$$x = \frac{x' + v_0 t' + \frac{\emptyset}{2x} t'^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{v_0}{c} + \frac{\emptyset}{2c^2}\right) \left(1 - \frac{v_0}{c} - \frac{\emptyset}{2c^2}\right)}} \quad (2 - 46)$$

في غياب ثاني للمجالات في (45) و (46) يتحول الى النسبية الخاصة . ان التعبير للطاقة

يعطى بـ

$$E = mc^2 = \gamma m_0 c^2 \quad (2-47)$$

بتعويض (42) و (47) نتحصل



$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{v_0}{c} + \frac{\phi}{2c^2}\right)\left(1 - \frac{v_0}{c} - \frac{\phi}{2c^2}\right)}} \quad (2 - 48)$$

وعندما لا يكون هنالك مجال نجد علاقة الطاقة تتحول لـ

$$E = \frac{m_0 c^2}{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \quad (2 - 49)$$

بوضع

$$x = \frac{v_0}{c} + \frac{\phi}{2c^2} \quad (2 - 50)$$

اى ان

$$\frac{\phi}{c^2} < \frac{v_0}{c} \quad (2 - 51)$$

المعادلة (48) يصبح

$$E = m_0 c^2 \left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2 - 52)$$

لكن عند السرعة المنخفضة

$$\frac{v_0}{c} \ll 1 \quad (2-53)$$

وهكذا

$$E = m_0 c^2 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{c^2}\right] \quad (2 - 54)$$

لكن حسب قوانين نيوتن

$$v^2 = v_0^2 + 2\phi \quad (2 - 55)$$

هكذا

$$\begin{aligned} E &= m_0 c^2 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{c^2} - \frac{\phi}{c^2}\right] \\ &= m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + m_0 \phi - m_0 c^2 + T + V \quad (2 - 56) \end{aligned}$$

حيث

$$V = -m_0\phi$$
$$T = \frac{1}{2}m_0v^2 \quad (2-57)$$

هى علاقة طاقة نيوتن العادية التي تعبر عن جانب تأثير الكتلة .

## 2.15 الدراسات السابقة: Literature review

في عام (1992م) قام (Bichse) بدراسة المدى وقدرة الايقاف للايونات الثقيلة السريعة في العناصر ولاحظ أن المدى وقدرة الايقاف للايونات الثقيلة تختلف في كل عنصر. [73]

في عام (1999م) قام (Ziegler) بدراسة قدرة الايقاف الالكترونية لايونات الضوء في مادة العنصر. [74]

في عام (1999م) قام فراس عائد نجم بدراسة تأثير الجسيمات المشحونة والضغط والرطوبة على الخصائص الكهربائية لبعض المواد العازلة حيث لاحظ عدم حصول تغير في خصائص البولي سترين لاحتوائه على حلقات اروماتية تكون ذات مقاومة شديدة للاشعاع. [75]

في عام (2005م) قام (Kadhum) بدراسة العوامل التي تعتمد عليها قدرة الايقاف الالكترونية. [76]

في عام (2005م) قامت الباحثة أسماء عماد عيد حسن النعيمي بدراسة الخواص الكهربائية والبصرية للبوليميرات الخطية النقية والمشوبة بالمركبات (Zno , cu so) حيث لاحظت ان عملية التشويب تؤدي تناقص في عدد المرات التي يكون فيها للغشاء ان يتحملها الانهيارات الكهربائية، وكذلك بينت ان قيم المعاملات تزداد بزيادة الطول الموجي وان قيم هذه المعاملات للاغشية النقية تكون أكبر من قيم الاغشية المشوبة بالمركبات. [77]

في عام (2005م) قام الباحثان يحى نوري جمال - زهراء بديع الدباغ بدراسة تأثير أشعة قاما على الخواص الكهربائية لمتسعات ذات الغشاء الرقيق من بولى ميثاكريلات المثل حيث لاحظ ان قيمة التوصيلية تتناقص بشكل اسي مع زيادة زمن التشعيع. [78]

في عام (2006م) قام (Kabadayi) بدراسة المدى المتوسط وطاقة البروتونات العالية وجسيمات ألفا في (NaI Scintillar). [79]

في عام (2007م) قام الباحث على السيد بدراسة تشعيع المواد البوليميرية في الاستخدامات الكهربائية في كابلات التوتر العالي حيث أوضحت دراسته تغير خواص المواد البوليميرية (ثابت العزل، عامل الفقد، وقياس السعة او قياس الانفراغات الجزيئية) نتيجة التشعيع بأشعة قاما. [80]

في عام (2007 م) قام (Magiarottil) بدراسة قدرة الايقاف النووية والالكترونية للايونات الثقيلة البطيئة بطاقة تتراوح (1-100 KeV). [ 81]

وفي عام (2008م) قام الباحث (Kadhum) بدراسة تأثير عامل الاضمحلال على قدرة الايقاف الالكترونية للايونات الثقيلة عند السرعة العالية والواطئة وذلك بالاعتماد على قطب البلازمون التقريبي (PIA) عند السرعة العالية واعتماد تقريب الطور العشوائي التقريبي (RPA) عند السرعة الواطئة واستنتج ان تأثير عامل الاضمحلال له دور هام سواء عند السرعة العالية او الواطئة. [64]

وفي عام (2009م) استطاع العالم (Armin Luhr&Alejandro Saenz) بحساب قدرة الايقاف لضديد البروتون في الاهداف (H,H<sub>2</sub>,He) بتأثير مدى الطاقة (1Kev\_6.4Mev) واستنتج ان قدرة الايقاف تختلف اختلافا ملحوظا في كل هدف من الاهداف. [66]

عام (2010 م) قام العالمان (Peter Sigmund&Andreas Schinner) بدراسه نظريه لتحليل قدرة الايقاف للهيدروجين السريع في نموذج المتذبذب التوافقي حيث استنتج حدوث تأثير لقدرة الايقاف في طاقة الاشعاع العالية وحدث سلوك متذبذب في الطاقات المنخفضة. [67]

في عام (2011م) قام الباحث وسن كامل حسن بدراسة على الخصائص الكهربائية لمركب بولي ستايرين - بنثيونايت والعوامل المؤثرة فيها واستنتجت ان ثابت العزل يتغير حسب تردد المجال الكهربائي المسلط، درجة الحرارة، ونسبة المالى. [82]

في عام (2013م) قام الباحثان راشد عويد كاظم، وشهلة عبدالسادة كاظم بحساب قدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة باستخدام عامل التصادم ، حيث لاحظ في حساب قدرة الايقاف لمركبات البوليمر ان قدرة الايقاف الكلية حسب قاعدتي براك والقيمة الفعالة تزداد بزيادة طاقة الجسيمات المشحونة الساقطة الى ان تصل قيمة معينة على التوالي ثم تبدأ في النقصان الى ان تكون قريبة من الصفر عند الطاقات العالية ، وكذلك لاحظ ان العلاقة طردية بين العدد الذري للجسيمة الساقطة وعامل التصادم حيث ان ايونات الكربون تمتلك عامل تصادم اكبر من عامل تصادم البروتونات مع الاهداف. [83]

في عام (2013م) قام الباحثان راشد عويد كاظم، ايمان حمود عبدالله بدراسة قدرة الايقاف الالكترونية لايونات الكربون والاكسجين في العناصر والمركبات المختلفة حيث لاحظ تأثير الشحنة الفعالة على التطابق بين النتائج النظرية وبرنامج اسريم. [84]

في عام (2014م) قام الباحثان رؤى سلام كاظم، راشد عويد كاظم بدراسة اعتماد التصادمات القريبة والبعيدة في حساب قدرة الايقاف للجسيمات المشحونة الثقيلة حيث لاحظ ان معادلة بيزر، بوهر تعد من الصيغ المهمة في حساب المقطع العرضي لقدرة الايقاف للجسيمات المشحونة. [85]

في عام (2015م) قام ايمان حمود عبدالله، راشد عويد كاظم بدراسة تأثير سرعة القذيفة على قدرة الايقاف الالكترونية للأوساط الذرية (La,Ta,Au,Sm,Er,Pb,U) بمدى طاقة (0.2- 1000Mev) حيث اوضحت الدراسة ان سرعة الجسيمات الساقطة تتناسب عكسياً مع قدرة الايقاف الالكترونية. [86]

في عام (2015م) قام الباحث ايمان حمود عبدالله بدراسة مدى الجسيمات المشحونة الثقيلة لبعض العناصر والمركبات في مدى طاقة (0.3 - 100 Mev) حيث لاحظ انه بزيادة طاقة جسيمة ألفا يزداد مدى اختراقها للوسط الموقوف وكذلك يختلف المدى من مركب لآخر. [87]

في عام (2015م) قام راشد عويد كاظم ، شهلة عبد السادة كاظم باستنباط علاقة شبه تجريبية لحساب قدرة الايقاف الالكترونية لايونات الكربون والاكسجين في بعض المركبات، واستنتج ان العلاقة الشبه تجريبية التي تم استنباطها من خلال الدراسة ابدت توافقاً جيداً مع نتائج برنامج اسريم (2012) وبالتالي فهي مفيدة في دراسة قدرة الايقاف الالكترونية للقذائف في المركبات. [88]

الباب الثالث

## CHAPTER THREE

طريقة اجراء البحث

The Method of Research

## 2.3 المقدمة: Introduction

في هذا الفصل تم استخدام الاستقراء الرياضي النظري لمعالجة الاخفاق في حساب قدرة الايقاف والحوسبة واستخدام حوسبة برنامج (SRIM).

## 3.2 الطريقة: The Method

في هذا البحث تمت دراسة نظرية باستخدام المعادلات الخاصة لحساب المدى وقدرة الايقاف الالكترونية لنظائر العناصر ومركبات بعض البوليمرات، حيث تم استخدام معادلة المدى للعناصر لحساب مدى كل عنصر ومعادلة المدى للمركبات لحساب المدى في المركبات ومعادلة بوهر لحساب قدرة الايقاف للعناصر ومعادلة قدرة الايقاف للمركبات لحساب قدرة الايقاف الالكترونية في المركبات. وتمت مقارنة النتائج المحسوبة من المعادلات مع النتائج المحسوبة من برنامج سريم.

## 3.2 برنامج سريم SRIM Program

هو برنامج المحاكاة الأكثر شيوعا لحساب قدرة الايقاف والمدى لمجموعة من الأيونات في المواد الصلبة . وتستند هذه المحاكاة في برنامج (SRIM) على اساس طريقة مونت كارلوفي ايقاف مدى الايونات في المادة . نتائج برنامج (SRIM) تتفق مع النتائج المتوسطة لعدد من برامج المحاكاة لمسارات الجسيمات.[70] في عام (1983م) بدأ اصدار برامج نقل الايونات مع تصحيحات طفيفة في البرنامج. برنامج (SRIM) (2011م) هو برنامج تعديل مزيج من الاصدارات السابقة وهو من البرامج الذي يعطي نسخة مطورة وفضل دقة في حسابات المدى و قدرة ايقاف الايونات المختلفة في الاهداف المختلفة . [89,68]

يستند برنامج (SRIM) في نقل الأيونات الثقيلة أقل من (2Gev/amu) في المادة. وبرنامج (SRIM) يعطي نتائج بعض الحسابات الإحصائية، ان اصطدام الأيون مع ذرات الهدف يختص بتصادم كولوم والتبادل والترابط بين التفاعلات لقذائف الإلكترون . أيضا أيون الحادث له تفاعلات طويلة المدى مع الهدف ، وخلق الإثارات للإلكترونات . تتطلب هذه الحسابات التركيب الإلكتروني للهدف و التركيب الذري . وصف شحنة أيون الهدف باستخدام مفهوم تأثير الشحنة

الفعالة ، والذي يتضمن سرعة تعتمد على شحنة وطول المدى الذي يختص بالكترونات الهدف. [91,90]

الأيونات تجعل التحركات المجهرية بين التصادمات ، وبالتالي يبلغ متوسط نتائج الاصطدام هذا الإجراء هو شائع لمعظم خوارزميات نقل الجسيمات المشحونة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الكفاءة . أيون المعالجة قد يكون في أي من الجسيمات المشحونة الثقيلة مثل بروتون أو أكثر هو وحدة نقل أيون شاملة لأنه يعامل الأهداف التي يمكن أن تكون معقدة للغاية. [93,92]الأهداف يمكن أن تكون مصنوعة من ما يصل الى ثماني طبقات ، كل طبقة التي تتكون من مواد مركبة . وتقدر في التوزيع النهائي للطبقات المختلفة للأهداف. [95,94]

برمجية (TRIM) الذي هو وحدة أيون النقل الشاملة وهو يعامل الأشياء التي يمكن أن تكون معقدة للغاية. ويمكن إجراء الكائن تصل إلى ثماني طبقات ، كل طبقة التي تتكون من مواد مركبة . وتكون التوزيع النهائي للأيونات (في ثلاثة أبعاد) في المواد المستهدفة وهي أيضا قادرة على تقدير الظواهر الحركية التي يسببها فقدان طاقة أيون. وتشمل هذه الظواهر الاختراق، والضرر للهدف، وإنتاج الفونونات والتأين. نماذج (SRIM) أجهزة الطرد المركزي التي تنتج من تأثير أيون على ذرات الهدف. حزمة (SRIM) يمكن استخدامها لتوليد جداول قدرة الايقاف، ويتراوح من الأيونات في المسألة والتوزيعات المتبعثرة، و (SRIM) يمكن أن تستخدم أيضا لدراسة زرع الأيونات ، أيون الاختراق و أيون العلاج الإشعاعي. [96,91]ولكن يعتمد برنامج (SRIM) في حسابه لقدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة الثقيلة على المعادلة :

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z z^2}{A \beta^2} \left[ \ln \left( \frac{2m_e \gamma^2 W_{max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 \right] \quad (3 - 1)$$

حيث :

$$r_e = 2.817 \times 10^{-13} \text{ نصف قطر الالكترون الكلاسيكي}$$

$m_e$  كتلة الالكترون

$$N_a = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \text{ عدد افقادرو ، } I \text{ طاقة وضع الاثارة}$$

$$Z \text{ العدد الذري للمادة الماصة } z \text{ شحنة الجسيمة الساقطة}$$

A الوزن الذري للمادة الماصة ،  $\rho$  كثافة المادة الماصة ، e شحنة الإلكترون

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$\beta = v/c$$

$W_{max}$  الطاقة القصوى للتصادم الواحد

$$\beta = 0.44$$



الباب الرابع

## CHAPTER FOUR

النتائج والمناقشة

The Results and Discussion

## 4.1 المقدمة: Introduction

في هذا الفصل سوف يتم مناقشة نتائج حساب قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر العناصر من المعادلة المعدلة (10-4) وحساب قدرة الايقاف لنظائر العناصر من برنامج (SRIM) وكذلك حساب قدرة الايقاف لمركبات البوليمر (بولي ايثيلين، بولي ستيرين، وبولي ميثا اكريلات الميثيل) من المعادلة (31-2) وحساب قدرة الايقاف لمركبات البوليمر (بولي ايثيلين، بولي ستيرين، وبولي ميثا اكريلات الميثيل) من برنامج (SRIM).

وايضاً سوف يتم مناقشة نتائج حساب المدى لجسيمات ألفا في العناصر من المعادلة (20-2) وحساب المدى لجسيمات ألفا من برنامج (SRIM) وكذلك حساب المدى لجسيمات ألفا لمركبات البوليمر (بولي ايثيلين، بولي ستيرين، وبولي ميثا اكريلات الميثيل) من المعادلة (22-2) وحساب المدى لجسيمات ألفا لمركبات البوليمر (بولي ايثيلين، بولي ستيرين، وبولي ميثا اكريلات الميثيل) من برنامج (SRIM).

## النتائج: The results

### 4.2 تعديل معادلة حساب قدرة الايقاف حسب النظرية النسبية الخاصة المعممة:

#### Modify Stopping power equation to special relativity theory

تتميز النظرية النسبية الخاصة المعممة بأنها تأخذ في الاعتبار تغير الكتلة  $m$  والطاقة  $E$  مع الجهد وطاقة الوضع لوحدة الكتل  $\emptyset$  حسب المعادلة [71].

$$m = m_0(1 - (2\emptyset/c^2 + v^2/c^2)^2)^{-1/2} \dots \dots \dots (4 - 1)$$

وعند السرعات المنخفضة وطاقة الوضع الضعيفة تصبح الكتلة في الصيغة التقريبية

$$m = m_0 \left( 1 + \frac{1}{2} (2\emptyset/c^2 + \frac{v^2}{c^2})^2 \right) \dots \dots \dots (4 - 2)$$

ويتضح من هاتين المعادلتين ان الكتلة يمكن ان تتغير للالكترونات المشحونة بشحنة سالبة . فاذا اعتبرنا ان هذه الالكترونات تتأثر بالسحابات الالكترونية أو المجال المغناطيسي للذرات فان هذا يؤدي لتولد قوة تنافر موجبة اي أن :

$$\emptyset = |\emptyset| \dots \dots \dots (4-3)$$

$$m(\emptyset) > m$$

وهذا سيزيد كتلة الالكترن حسب المعادلة (25) وحسب المعادلة (27) فان هذا سيؤدي لتقليل قدرة الايقاف وطول المسار . وهذا يتسق مع المبادئ الفيزيائية الحسية حيث ان زيادة الكتلة يقلل من حركة الالكترن وبالتالي يقلل القدرة وطول المسار كما ان التنافر مع السحابة الالكترونية يقلل من سرعتها وطول المسار والقدرة .

$$s(\emptyset) \leq s \dots \dots \dots (4 - 4) \quad \text{اي ان}$$

اما اذا اعتبرنا ان الالكترونات تتأثر بالايونات الموجبة او المجال المغناطيسي فان طاقة وضع الكتل ستصبح سالبة اي ان

$$\emptyset = -|\emptyset| \dots \dots \dots (4-5)$$

ولمعرفة تأثير الكتلة بالجذب الكهربى او المغناطيسي يمكن استخدام التقريب الذي فيه

$$\emptyset < v$$

لتصبح الحد الثاني في المعادلة (2) في الصيغة

$$\begin{aligned} (v^2/c^2 + 2\emptyset/c^2)^2 &= (v^2/c^2)^2(1 + 2\emptyset/v^2)^2 \\ &= (v^2/c^2)^2(1 + 4\emptyset/v^2) \dots \dots \dots (4-6) \end{aligned}$$

وبتعويض (6) في (2) تصبح الكتلة في الصيغة

$$m = m_0 \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{v^2}{c^2} \right)^2 \right) (1 + 4\emptyset/v^2) \dots \dots \dots (4 - 7)$$

وبتعويض (4) في (6) يتضح أن الكتلة تنقص في وجود مجال جاذبي كهربى او مغناطيسى أي أن

$$m(\emptyset) < m \dots \dots \dots (4 - 8)$$

في هذه الحالة ان المعادلة (27) توضح ان القدرة وطول المسار يزيدان عند وجود تجاذب ايوني اي ان

$$s(\emptyset) > s \dots \dots \dots (4 - 9)$$

وبتعويض (7) في (27) تصبح المعادلة في الصيغة :

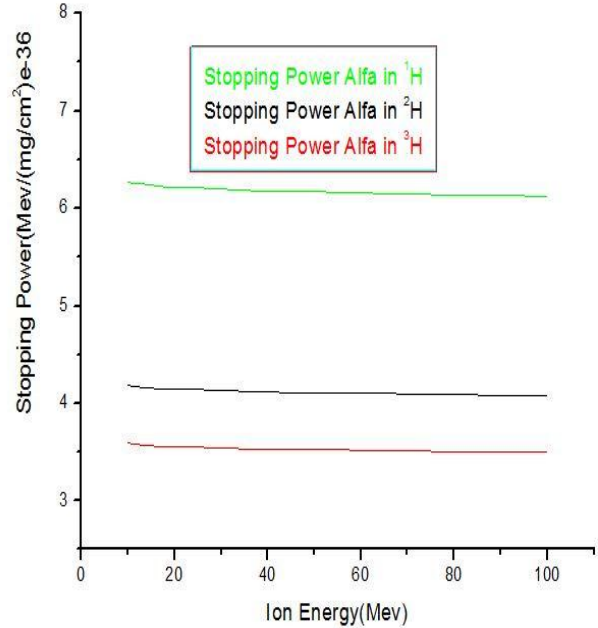
$$S = \frac{4\pi Z_1 e^4 Z_2}{\left( m_0 \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{v^2}{c^2} \right)^2 \right) (1 + 4\emptyset/v^2) \right) v^2} L_{\text{Bethe}} \dots \dots \dots (4 - 10)$$

وعليه يمكن تفسير تغير قدرة الايقاف باعتبار ان زيادة النيوترونات تؤدي لزيادة العزم المغناطيسي للذرة مما يؤدي لزيادة قوة التناثر المغناطيسي وطاقة الوضع وهذا يزيد الكتلة ويؤدي لتقليل قدرة الايقاف .

## 4.2.1 قدرة الايقاف الالكترونية: electronic stopping power

4.2.1.1 قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الهيدروجين من المعادلة (4-10) وبرنامج سريم:  
 قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الهيدروجين من المعادلة المعدلة (4-10)

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))		
	<sup>1</sup> H	<sup>2</sup> H	<sup>3</sup> H
10	6.27	4.18	3.59
11	6.26	4.17	3.58
12	6.25	4.17	3.58
13	6.25	4.16	3.57
14	6.24	4.16	3.57
15	6.24	4.16	3.57
16	6.23	4.15	3.56
17	6.23	4.15	3.56
18	6.22	4.15	3.56
20	6.22	4.14	3.55
22.5	6.21	4.14	3.55
25	6.21	4.14	3.55
27.5	6.2	4.13	3.54
30	6.2	4.13	3.54
32.5	6.19	4.13	3.54
35	6.19	4.12	3.53
37.5	6.18	4.12	3.53
40	6.18	4.12	3.53
45	6.17	4.11	3.52
50	6.17	4.11	3.52
55	6.16	4.11	3.52
60	6.16	4.1	3.51
65	6.15	4.1	3.51
70	6.15	4.09	3.51
80	6.14	4.09	3.5
90	6.13	4.08	3.5
100	6.12	4.08	3.5



الشكل (4-1) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الهيدروجين من المعادلة (4-10)

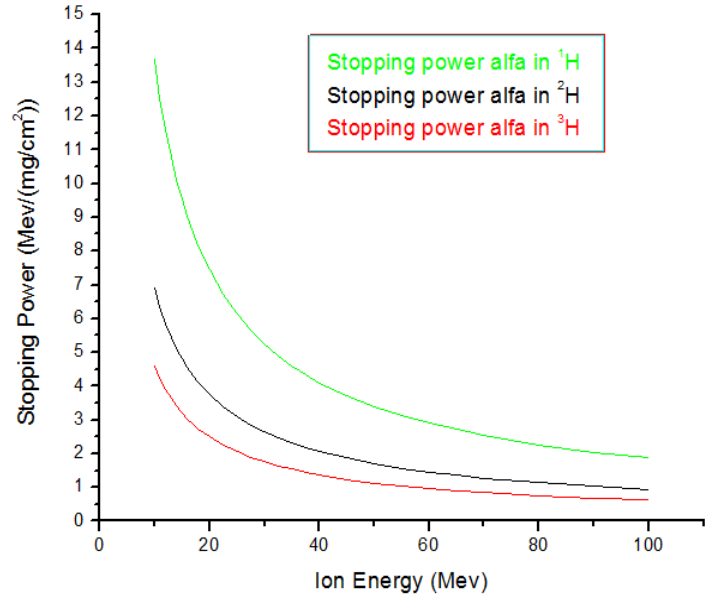
الجدول (4-1) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الهيدروجين من المعادلة (4-10)

تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الهيدروجين (<sup>1</sup>H, <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H) من المعادلة المعدلة (4-10) ولوحظ من خلال الشكل (4-1) ان قدر

الايقاف في الهيدروجين  $^1\text{H}$  اكبر من قدرة الايقاف في  $(^2\text{H}, ^3\text{H})$  اي ان قدرة الايقاف تقل في النظير  $(^3\text{H})$ .

قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الهيدروجين من برنامج اسريم:

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))		
	<sup>1</sup> H	<sup>2</sup> H	<sup>3</sup> H
10	13.7	6.9	4.6
11	12.5	6.34	4.22
12	11.6	5.86	3.91
13	10.8	5.46	3.64
14	10.1	5.12	3.41
15	9.56	4.82	3.21
16	9.04	4.55	3.03
17	8.57	4.32	2.88
18	8.15	4.11	2.74
20	7.44	3.75	2.5
22.5	6.72	3.38	2.26
25	6.14	3.09	2.06
27.5	5.65	2.85	1.9
30	5.25	2.64	1.76
32.5	4.9	2.47	1.64
35	4.6	2.31	1.54
37.5	4.33	2.18	1.45
40	4.1	2.06	1.37
45	3.71	1.87	1.24
50	3.39	1.7	1.13
55	3.12	1.57	1.05
60	2.9	1.46	0.975
65	2.71	1.36	0.91
70	2.54	1.28	0.855
80	2.27	1.14	0.736
90	2.05	1.03	0.691
100	1.88	0.948	0.632

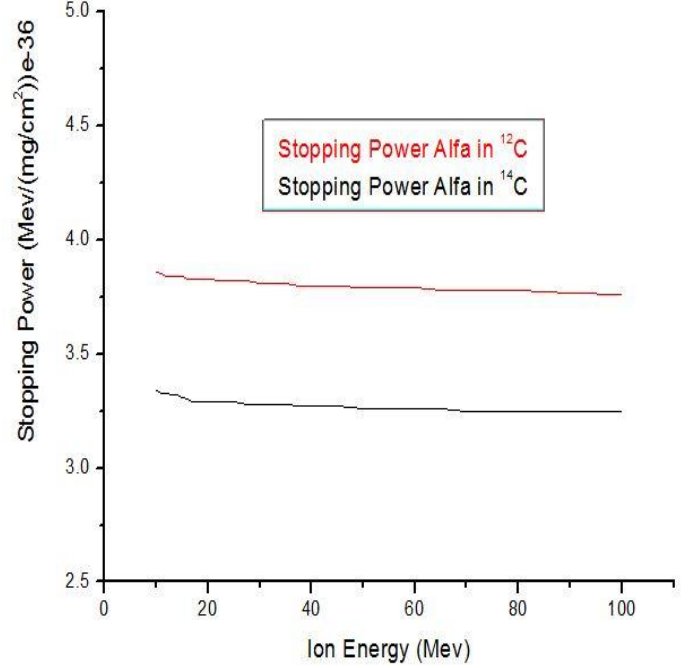


الشكل (4-2) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الهيدروجين من برنامج اسريم

الجدول (4-2) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الهيدروجين من برنامج اسريم

4.2.1.2 قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الكربون من المعادلة (4-10) وبرنامج سريم:  
 قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الكربون من المعادلة المعدلة (4-10)

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))	
	<sup>12</sup> C	<sup>14</sup> C
10	3.87	3.5
11	3.86	3.49
12	3.85	3.49
13	3.84	3.48
14	3.84	3.48
15	3.84	3.47
16	3.84	3.47
17	3.83	3.47
18	3.83	3.46
20	3.83	3.46
22.5	3.83	3.46
25	3.82	3.45
27.5	3.82	3.45
30	3.82	3.45
32.5	3.81	3.44
35	3.81	3.44
37.5	3.81	3.44
40	3.8	3.43
45	3.8	3.43
50	3.8	3.42
55	3.79	3.42
60	3.79	3.42
65	3.79	3.41
70	3.78	3.41
80	3.78	3.41
90	3.78	3.4
100	3.77	3.4



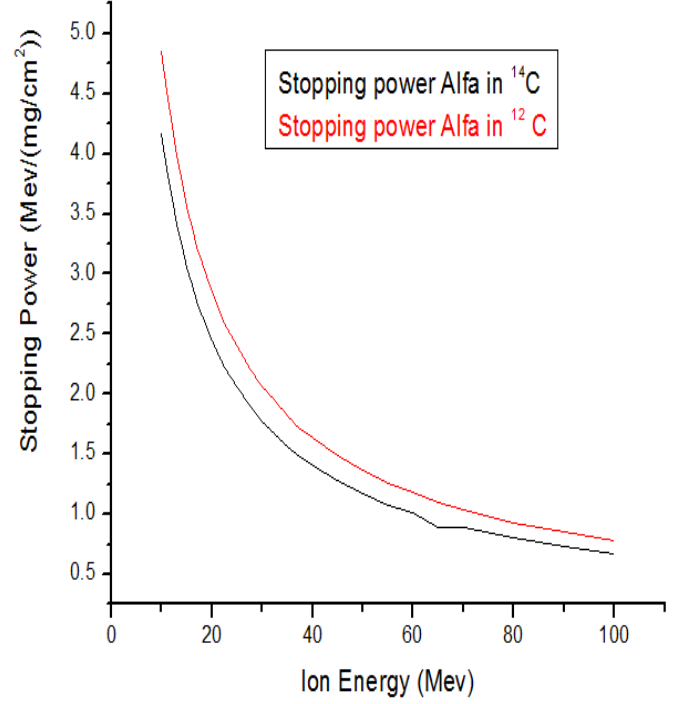
الشكل (4-3) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الكربون من المعادلة (4-10)

الجدول (4-3) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الكربون من المعادلة (4-10)

تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الكربون (<sup>12</sup>C, <sup>14</sup>C) من المعادلة المعدلة (4-10) ولوحظ من خلال الشكل (4-2) ان قدر الايقاف في الكربون <sup>12</sup>C اكبر من قدرة الايقاف في (<sup>14</sup>C) اي ان قدرة الايقاف تقل في النظير (<sup>14</sup>C).

قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الكربون من برنامج سريم:

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))	
	<sup>12</sup> C	<sup>14</sup> C
10	4.85	4.16
11	4.52	3.87
12	4.23	3.63
13	3.98	3.41
14	3.76	3.22
15	3.56	3.06
16	3.39	2.91
17	3.23	2.77
18	3.09	2.65
20	2.85	2.44
22.5	2.59	2.22
25	2.39	2.05
27.5	2.21	1.9
30	2.06	1.77
32.5	1.94	1.66
35	1.82	1.56
37.5	1.71	1.48
40	1.64	1.4
45	1.49	1.28
50	1.37	1.17
55	1.26	1.08
60	1.18	1.01
65	1.1	0.894
70	1.04	0.894
80	0.934	0.802
90	0.849	0.728
100	0.779	0.668

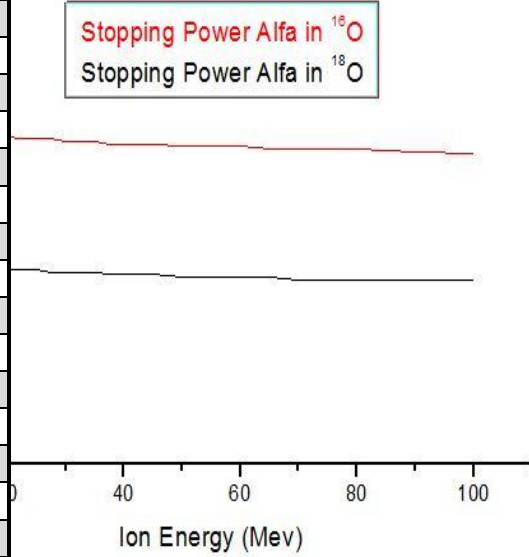


الشكل (4-4) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الكربون من برنامج سريم

الجدول (4-4) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الكربون من برنامج سريم

4.2.1.3 قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الاوكسجين من المعادلة (4-10) وبرنامج سريم:  
 قدرة الايقاف الالكترونية لنظائر الاوكسجين من المعادلة المعدلة (4-10)

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))	
	<sup>16</sup> O	<sup>18</sup> O
10	3.86	3.34
11	3.85	3.33
12	3.84	3.33
13	3.84	3.32
14	3.84	3.32
15	3.84	3.31
16	3.83	3.31
17	3.83	3.30
18	3.83	3.30
20	3.83	3.29
22.5	3.82	3.29
25	3.82	3.29
27.5	3.82	3.28
30	3.81	3.28
32.5	3.81	3.28
35	3.81	3.28
37.5	3.8	3.27
40	3.8	3.27
45	3.8	3.27
50	3.79	3.26
55	3.79	3.26
60	3.79	3.26
65	3.78	3.26
70	3.78	3.25
80	3.78	3.25
90	3.77	3.25
100	3.76	3.25



الشكل (4-5) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الاوكسجين من المعادلة (4-10)

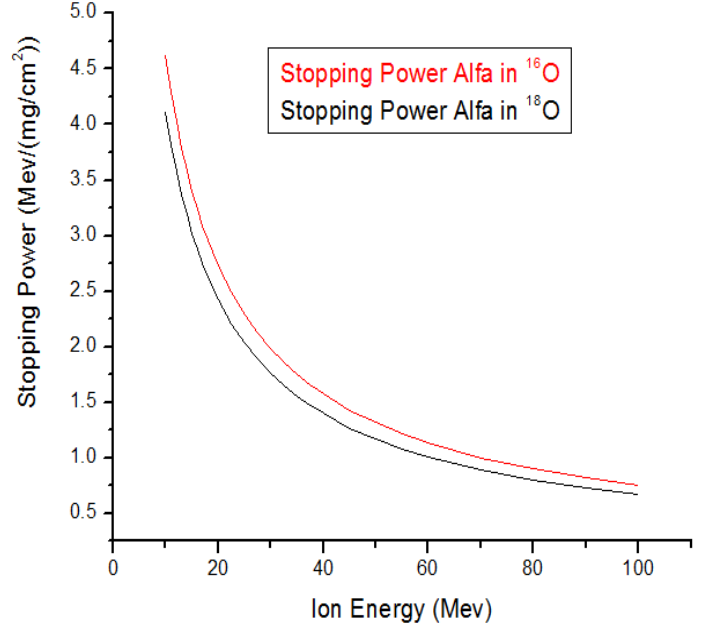
الجدول (4-5) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الاوكسجين من المعادلة (4-10)

تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الاوكسجين (<sup>16</sup>O, <sup>18</sup>O) من المعادلة المعدلة (4-10) ولوحظ من خلال الشكل (4-3) ان قدر الايقاف في الاوكسجين <sup>16</sup>O اكبر من قدرة الايقاف في (<sup>18</sup>O) اي ان قدرة الايقاف تقل في النظير (<sup>18</sup>O).



قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الاوكسجين من برنامج سريم:

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))	
	<sup>16</sup> O	<sup>18</sup> O
10	4.62	4.11
11	4.3	3.82
12	4.03	3.58
13	3.79	3.37
14	3.59	3.19
15	3.4	3.02
16	3.24	2.88
17	3.09	2.75
18	2.96	2.63
20	2.73	2.42
22.5	2.49	2.21
25	2.29	2.03
27.5	2.12	1.89
30	1.98	1.76
32.5	1.86	1.65
35	1.75	1.56
37.5	1.66	1.47
40	1.58	1.4
45	1.43	1.27
50	1.32	1.17
55	1.22	1.08
60	1.14	1.01
65	1.07	0.95
70	1	0.895
80	0.904	0.803
90	0.821	0.73
100	0.754	0.67



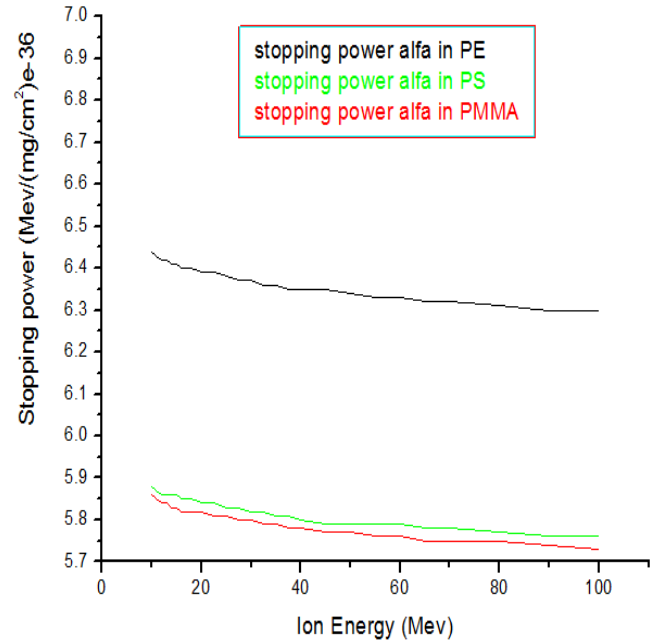
الشكل (4-6) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الاوكسجين من برنامج اسريم

الجدول (4-6) يوضح قدرة الايقاف لنظائر الاوكسجين من برنامج اسريم

تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الكربون (<sup>12</sup>C, <sup>14</sup>C) والهيدروجين (<sup>1</sup>H, <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H) والاكسجين (<sup>16</sup>O, <sup>18</sup>O) من برنامج (SRIM) في مدى طاقة (10-100)Mev، ومن خلال الاشكال (4-2)،(4-4)،(4-6) لوحظ ان قدرة الايقاف تقل في نظير العنصر حيث ان برنامج سريم يعتمد في حسابه على قدرة الايقاف الالكترونية على العدد الكتلي للعنصر.

4.2.1.4 قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من المعادلة (2-31):  
(بولي ايثيلين، بولي سترين، بولي ميثاكريلات الميثيل)

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))		
	PMMA	PE	PS
10	5.86	6.44	5.88
11	5.85	6.43	5.87
12	5.84	6.42	5.86
13	5.84	6.42	5.86
14	5.83	6.41	5.86
15	5.83	6.41	5.86
16	5.82	6.4	5.85
17	5.82	6.4	5.85
18	5.82	6.4	5.85
20	5.82	6.39	5.84
22.5	5.81	6.39	5.84
25	5.81	6.38	5.83
27.5	5.8	6.37	5.83
30	5.8	6.37	5.82
32.5	5.79	6.36	5.82
35	5.79	6.36	5.81
37.5	5.78	6.35	5.81
40	5.78	6.35	5.80
45	5.77	6.35	5.79
50	5.77	6.34	5.79
55	5.76	6.33	5.79
60	5.76	6.33	5.79
65	5.75	6.32	5.78
70	5.75	6.32	5.78
80	5.75	6.31	5.77
90	5.74	6.3	5.76
100	5.73	6.3	5.76



الشكل (4-7) قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من المعادلة (2-31)

الجدول (4-7) قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من المعادلة (2-31)

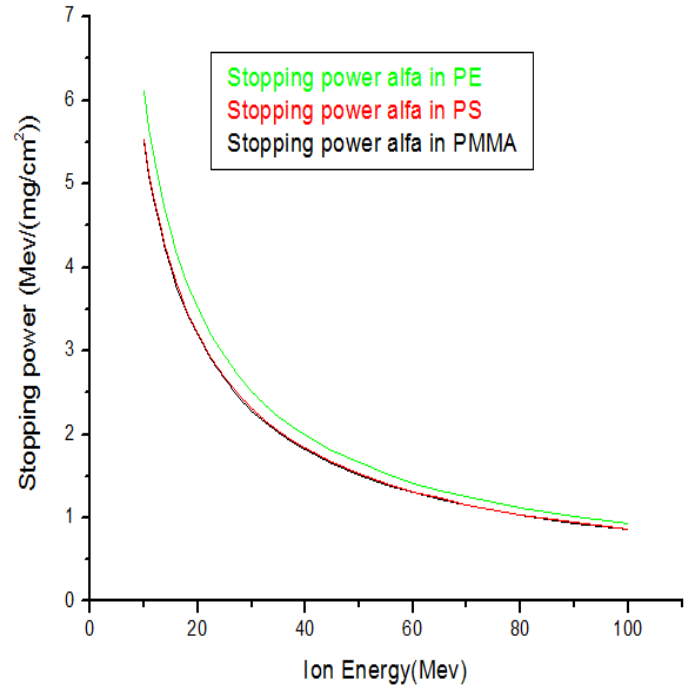
تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على مركبات البوليمر (بولي ايثيلين، بولي سترين، بولي ميثاكريلات الميثيل) من خلال المعادلة (2-31) الذي يعتمد على قدرة الايقاف للعنصر في المركب، اذ وجد قدرة الايقاف للعنصر من معادلة بوهر (2-25) وتم تعويضها في المعادلة (2-31) ووجد من الشكل (4-7) تغير قدرة الايقاف في المركبات حيث ان قدرة الايقاف في البولي ايثيلين اكبر من البولي سترين والبولي ميثاكريلات ويعزى ذلك الى ان

قدرة الايقاف لعنصري الهيدروجين والكاربون أكبر، حيث لوحظ ان قدرة الايقاف تعتمد عدد ذرات وقدرة الايقاف للعنصر في المركب .

#### 4.2.1.5 قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من برنامج (SRIM):

(بولي ايثيلين، بولي سترين، بولي ميثاكريلات الميثيل)

Ion Energy (Mev)	Stop power(Mev/(mg/cm <sup>2</sup> ))		
	PMMA	PE	PS
10	5.49	6.12	5.54
11	5.1	5.67	5.14
12	4.76	5.29	4.8
13	4.47	4.96	4.51
14	4.22	4.68	4.25
15	3.99	4.42	4.03
16	3.79	4.2	3.83
17	3.62	4	3.65
18	3.46	3.82	3.48
20	3.18	3.51	3.2
22.5	2.89	3.19	2.91
25	2.66	2.93	2.68
27.5	2.46	2.71	2.48
30	2.29	2.52	2.31
32.5	2.15	2.36	2.16
35	2.02	2.22	2.04
37.5	1.91	2.1	1.93
40	1.82	1.99	1.83
45	1.65	1.81	1.66
50	1.51	1.66	1.52
55	1.4	1.53	1.41
60	1.3	1.42	1.31
65	1.22	1.33	1.23
70	1.15	1.25	1.15
80	1.03	1.12	1.03
90	0.937	1.02	0.942
100	0.86	0.937	0.864



الشكل(4-8) قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر

من برنامج اسريم

الجدول(4-8) قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر من برنامج اسريم

من برنامج (srim) تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا في مركبات البوليمر (بولي ايثيلين، بولي ميثا اكريلات الميثيل، بولي سترين) في مدى طاقة (10-100)Mev ومن خلال الشكل (4-8) وجد ان قدرة الايقاف يتغير من مركب لآخر. وتعتمد قدرة الايقاف الالكترونية في المركب على طبيعة وطاقة الجسيم الساقط وعدد العناصر المكونة منها المركب، حيث نجد ان

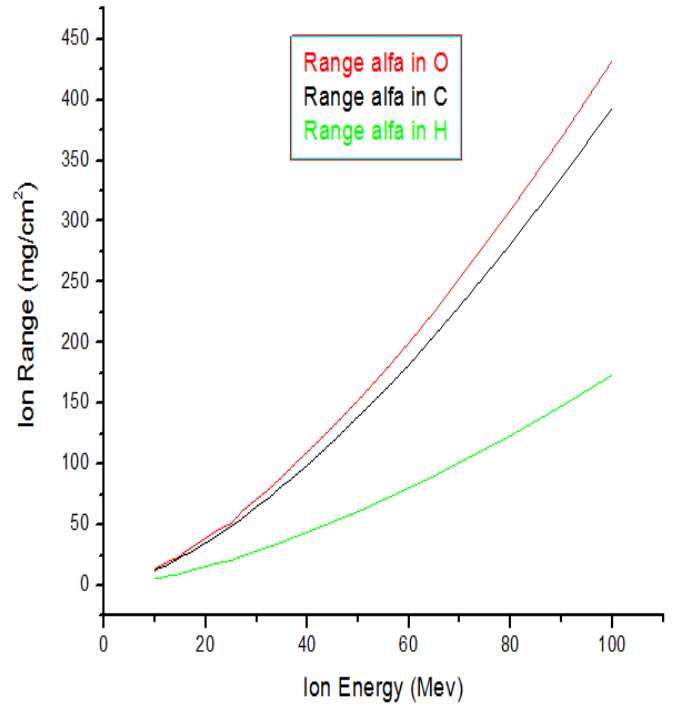
قدرة الايقاف في المركب يتغير وفقا لعدد العناصر المكونة لذات المركب، وان برنامج (srim) يعتمد في حساباته على نوع العنصر وعدد الذرات في المركب .

## 4.2.2 المدى لجسيمات ألفا: the Range of Alpha Particles

### 4.2.2.1 المدى لجسيمات ألفا الساقطة على العناصر من المعادلة (2-20):

(الهيدروجين، الكربون، الاوكسجين)

Ion Energy (Mev)	Range( mg/cm <sup>2</sup> )		
	H	C	O
10	5.47	12.42	13.66
11	6.31	14.33	15.76
12	7.19	16.32	17.96
13	8.11	18.4	20.25
14	9.06	20.57	22.63
15	10.05	22.83	25.1
16	11.07	25.15	27.65
17	12.13	27.55	30.28
18	13.21	30.01	32.99
20	15.47	35.21	38.64
22.5	17.85	40.55	44.58
25	20.34	49.13	50.8
27.5	24.27	55.14	60.61
30	28.42	64.57	70.98
32.5	31.31	71.14	78.2
35	35.83	81.37	89.45
37.5	38.93	88.45	97.23
40	43.76	99.42	109.29
45	52.22	118.63	130.41
50	61.16	138.95	152.73
55	70.57	160.3	176.21
60	80.4	182.65	200.78
65	90.66	205.95	226.39
70	101.32	230.17	253.01
80	123.79	281.21	309.11
90	147.71	335.55	368.85
100	173	393	432



الشكل (9-4) مدى جسيمات ألفا في العناصر (O , C , H) من المعادلة (2-20)

الجدول (9-4) مدى جسيمات ألفا في العناصر (O , C , H) من المعادلة (2-20)

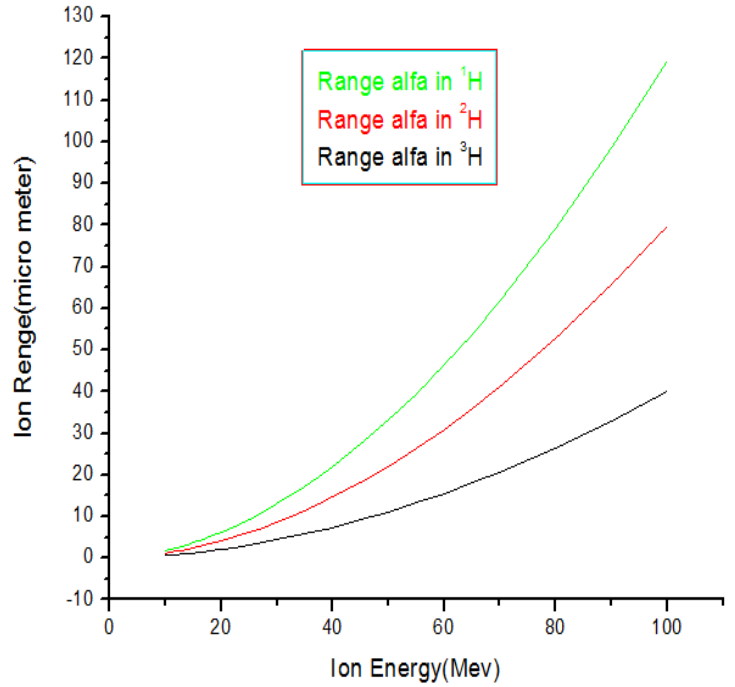
تم حساب المدى لجسيمات ألفا في العناصر (O , C , H) من المعادلة (2-20) ولوحظ من خلال الشكل (9-4) تغير المدى مع الطاقة حيث ان المدى في عنصر الهيدروجين أقل من المدى في عنصرى الكربون والاكسجين ، وان المدى في عنصر الاوكسجين أكبر من المدى في الكربون والهيدروجين وهذا يعزى الى ان العدد الذري للاوكسجين أكبر والعدد الذري

للهدروجين أقل، وكذلك نلاحظ ان المدى في الاوساط المختلفة يكون نفسه تقريباً عند الطاقات المنخفضة مع اختلاف عند الطاقات العالية ويمكن ان يعزى ذلك الى الوزن الذري للوسط العنصر والى طبيعة العنصر.

#### 4.2.2.2 المدى لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر العناصر من برنامج (SRIM): (<sup>12</sup>C, <sup>14</sup>C, <sup>16</sup>O, <sup>18</sup>O, <sup>1</sup>H, <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H)

المدى لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الهيدروجين من برنامج (SRIM):

Ion Energy (Mev)	Range(μm)		
	<sup>1</sup> H	<sup>2</sup> H	<sup>3</sup> H
10	0.61296	1.22	1.83
11	0.71947	1.43	2.14
12	0.83499	1.66	2.49
13	0.95939	1.91	2.86
14	1.09	2.17	3.26
15	1.23	2.45	3.68
16	1.38	2.75	4.12
17	1.54	3.06	4.6
18	1.71	3.4	5.1
20	2.07	4.11	6.16
22.5	2.56	5.09	7.63
25	3.11	6.17	9.25
27.5	3.7	7.35	11.02
30	4.34	8.62	12.93
32.5	5.03	9.99	14.98
35	5.77	11.45	17.17
37.5	6.55	13	19.5
40	7.38	14.65	21.97
45	9.17	18.2	27.31
50	11.14	22.11	33.18
55	13.29	26.38	39.57
60	15.61	30.98	46.48
65	18.1	35.93	53.9
70	20.76	41.21	61.83
80	26.58	52.75	79.14
90	33.04	65.59	98.39
100	40.15	79.69	119.56

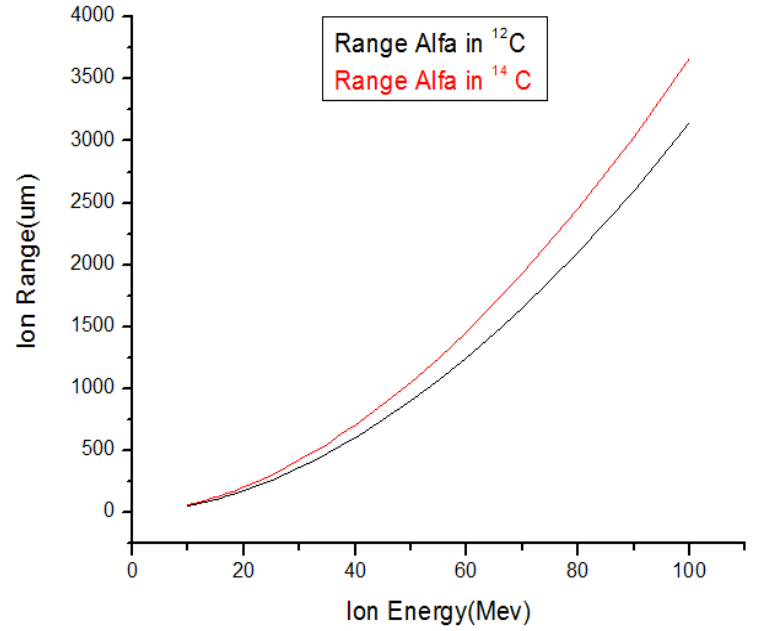


الشكل (10-4) مدى جسيمات ألفا في نظائر الهيدروجين من برنامج (اسريم)

الجدول (10-4) مدى جسيمات ألفا في نظائر الهيدروجين من برنامج (اسريم)

المدى لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الكربون من برنامج (SRIM):

Ion Energy (Mev)	Range( $\mu\text{m}$ )	
	$^{12}\text{C}$	$^{14}\text{C}$
10	55.09	64.22
11	64.56	75.26
12	74.7	87.08
13	85.51	99.68
14	96.97	113.04
15	109.08	127.16
16	121.84	142.03
17	135.22	157.63
18	149.23	173.96
20	179.1	208.78
22.5	219.85	256.28
25	264.35	308.15
27.5	312.53	364.32
30	364.34	424.71
32.5	419.73	489.27
35	478.63	557.94
37.5	541.03	630.67
40	606.87	707.42
45	748.63	872.66
50	903.78	1050
55	1070	1250
60	1250	1460
65	1450	1690
70	1650	1930
80	2100	2450
90	2600	3030
100	3150	3670

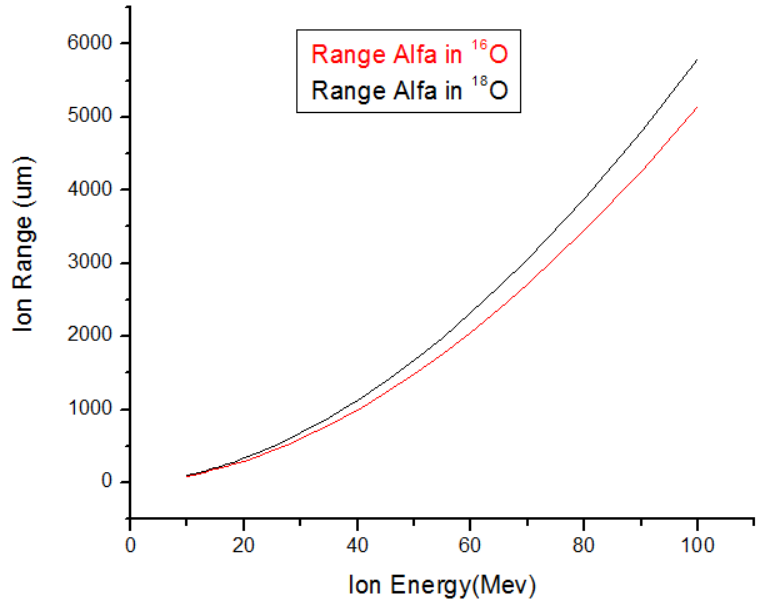


الشكل (4-11) مدى جسيمات ألفا في نظائر الكربون من برنامج (سریم)

الجدول (4-11) مدى جسيمات ألفا في نظائر الكربون من برنامج (سریم)

المدى لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الاوكسجين من برنامج (SRIM):

Ion Energy (Mev)	Range(μm)	
	<sup>16</sup> O	<sup>18</sup> O
10	94.75	106.61
11	110.45	124.28
12	127.26	143.19
13	145.16	163.33
14	164.14	184.68
15	184.17	207.23
16	205.26	230.95
17	227.38	255.84
18	250.53	281.89
20	299.83	337.35
22.5	367.03	412.96
25	440.33	495.44
27.5	519.64	584.67
30	604.85	680.54
32.5	695.88	782.96
35	792.64	891.83
37.5	895.07	1010
40	1000	1130
45	1240	1390
50	1490	1680
55	1770	1990
60	2060	2320
65	2380	2680
70	2720	3060
80	3450	3880
90	4260	4800
100	5150	5800



الشكل (4-12) مدى جسيمات ألفا في نظائر الاوكسجين من برنامج (اسريم)

الشكل (4-12) مدى جسيمات ألفا في نظائر الاوكسجين من برنامج (اسريم)

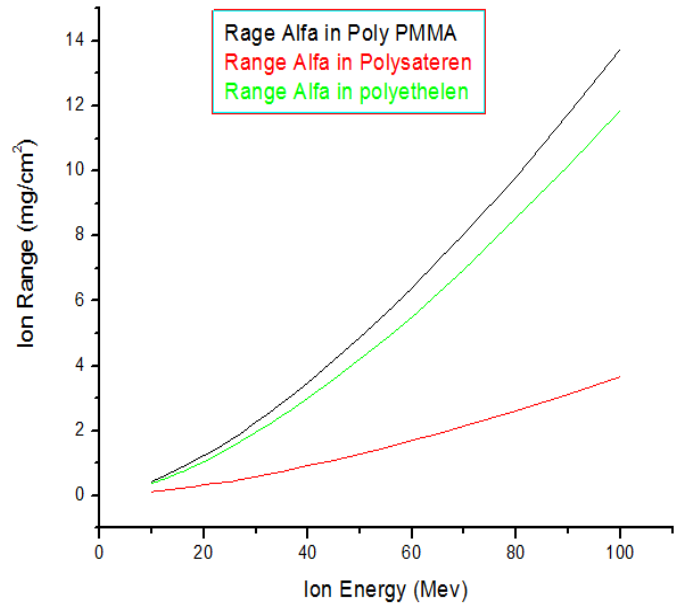
من برنامج (srim) تم حساب المدى لجسيمات ألفا الساقطة على نظائر الهيدروجين (<sup>1</sup>H, <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H) والكربون (<sup>12</sup>C, <sup>14</sup>C) والاكسجين (<sup>16</sup>O, <sup>18</sup>O) في مدى طاقة (10-100) Mev ومن خلال الاشكال (4-10)، (4-11)، (4-12) لوحظ المدى في الهيدروجين <sup>1</sup>H اقل من المدى في (<sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H). وكذلك نجد أن المدى في الكربون <sup>12</sup>C اقل من الكربون <sup>14</sup>C، وايضاً نجد المدى للاوكسجين <sup>16</sup>O اقل من المدى في <sup>18</sup>O. ويعزى ذلك الى زيادة العدد الكتلي في نظائر

العناصر، حيث نلاحظ ان المدى في برنامج (srim) يعتمد على نوع العنصر والعدد الذري والعدد الكتلي للعنصر.

### 4.2.2.3 المدى لجسيمات ألفا الساقطة على مركبات البوليمرات من المعادلة (2-22):

(بولي ايثيلين، بولي سترين، بولي ميثاكريلات الميثيل)

Ion Energy (Mev)	Range(mg/cm <sup>2</sup> )		
	PMMA	PE	PS
10	0.435	0.376	0.116
11	0.502	0.433	0.134
12	0.572	0.493	0.152
13	0.644	0.556	0.171
14	0.732	0.622	0.194
15	0.805	0.69	0.213
16	0.881	0.76	0.234
17	0.965	0.833	0.257
18	1.05	0.907	0.279
20	1.23	1.06	0.328
22.5	1.42	1.22	0.378
25	1.7	1.46	0.446
27.5	1.93	1.67	0.513
30	2.26	1.95	0.602
32.5	2.49	2.15	0.663
35	2.85	2.46	0.759
37.5	3.09	2.67	0.824
40	3.48	3	0.927
45	4.17	3.58	1.106
50	4.88	4.2	1.295
55	5.62	4.85	1.494
60	6.41	5.52	1.703
65	7.25	6.25	1.92
70	8.06	6.94	2.146
80	9.8	8.54	2.62
90	11.76	10.14	3.135
100	13.77	11.87	3.66



الشكل (4-13) المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من المعادلة (2-22)

الجدول (4-13) المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من المعادلة (2-22)

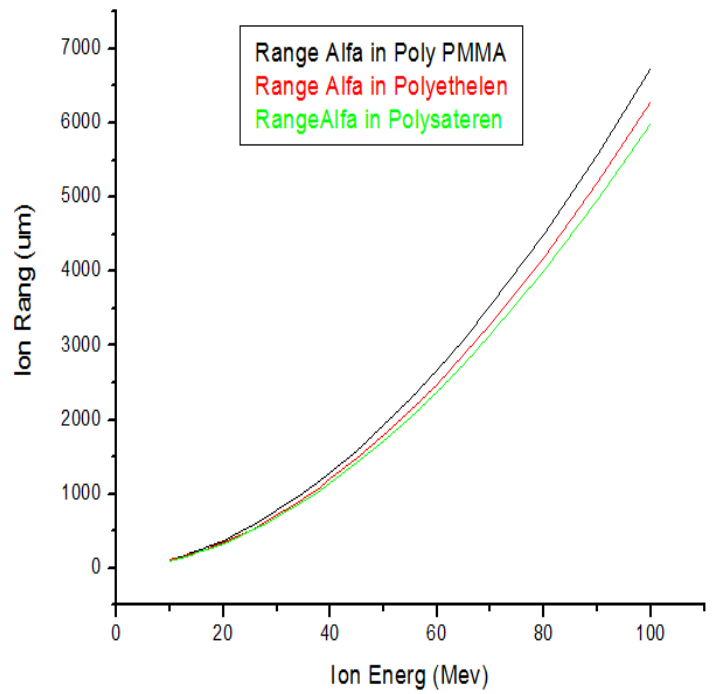
تم حساب المدى لجسيمات ألفا في مركبات البوليمر (بولي ايثيلين ، بولي سترين ، بولي ميثاكريلات الميثيل) من خلال المعادلة (2-22) والتي تحسب مدى جسيمات ألفا على اساس



الاوزان الذرية للعنصر والنسبة المئوية لمكونات المركب ومن الشكل (13-4) لوحظ تغير المدى في البوليمرات حيث أن المدى في بولي ستيرين اقل من المدى في بولي ايثيلين وبولي ميثا اكريلات الميثيل والمدى في بولي ميثا اكريلات الميثيل أكبر، نلاحظ ايضاً ان المدى في كل مركب يعتمد على مدى العنصر ونوع العنصر والوزن الذري للمركب.

#### 4.2.2.4 المدى لجسيمات ألفا الساقطة على مركبات البوليمرات من برنامج (SRIM): (بولي ايثيلين، بولي ستيرين، بولي ميثا اكريلات الميثيل)

Ion Energy (Mev)	Range(μm)		
	PMMA	PE	PS
10	116.34	105.3	102.09
11	136.21	123.51	119.75
12	157.55	143.11	138.71
13	180.33	164.06	158.96
14	204.53	186.34	180.47
15	230.13	209.95	203.23
16	257.12	234.85	227.23
17	285.48	261.04	252.44
18	315.2	288.51	278.87
20	378.6	347.17	335.26
22.5	465.24	427.44	412.33
25	559.98	515.31	496.62
27.5	662.66	610.65	587.99
30	773.16	713.35	686.34
32.5	891.37	823.29	791.56
35	1020	940.39	903.58
37.5	1150	1060	1020
40	1290	1200	1150
45	1590	1480	1420
50	1930	1790	1710
55	2290	2130	2030
60	2680	2490	2380
65	3090	2880	2750
70	3530	3290	3150
80	4500	4190	4010
90	5570	5190	4960
100	6740	6290	6000



الشكل (14-4) المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من برنامج (اسريم)

الجدول (14-4) المدى لجسيمات ألفا على مركبات البوليمرات من برنامج اسريم

تم حساب المدى لجسيمات ألفا الساقطة على مركبات البوليمر (بولي إيثيلين، بولي ستيرين، بولي ميثاكريلات الميثيل) من برنامج اسريم، من خلال الشكل (14-4) لوحظ ان مدى جسيمات ألفا يتغير من مركب الى اخر مما يمكن ان يعزى الى تأثير الوزن الذري للمركب، وكذلك نلاحظ ان اسريم يعتمد في حساباته لمدى جسيمات ألفا على نوع وعدد العناصر التي يتكون منها المركب.

### 4.3 المناقشة: discution

#### 4.3.1 قدرة الايقاف الالكترونية: electronic stopping power

##### قدرة الايقاف الالكترونية بالنسبة للنظائر: electronic stopping power for isotopes

لا توجد معادلات تحسب قدرة الايقاف الالكترونية للنظائر، لذلك تم تعديل المعادلة (27-2) لتشمل تأثير الكتلة النسبية في النظرية النسبية الخاصة المعممة باعتبار ان زيادة العدد الكتلي ناتج عن زيادة عدد النيوترونات التي يزيد العزم المغناطيسي للذرة مما يزيد طاقة الوضع التنافري وهذا يزيد كتلة الالكتران مما يقلل قدرة الايقاف. وهذا ايضا يتسق مع الحس الفيزيائي لان نقصان الكتلة والتجاذب يؤديان لزيادة السرعة وبالتالي زيادة القدرة وعمق الاختراق، وكما هو معلوم فان النظائر تحوي نيوترونات تمتلك عزوم مغناطيسية . هذه العزوم تساهم في عزم النواة وعزم الذرة ككل . وعليه فان اضافة اي نيوترون سيغير من العزم المغناطيسي للذرات . وهذا يعني ان اي نظير سيكون له عزم مغناطيسي مختلف عن باقي النظائر. وعليه يمكن تفسير تغير قدرة الاختراق وعمقه باعتبار ان زيادة النيوترونات تؤدي لزيادة العزم المغناطيسي للذرة مما يؤدي لزيادة قوة التنافر المغناطيسي وطاقة الوضع وهذا يزيد الكتلة ويؤدي لتقليل قدرة وعمق الايقاف. ومن ثم تم حساب قدرة الايقاف الالكترونية للنظائر وقد وجد توافقاً مع القيم المحسوبة من برنامج (srim) ومعادلة بوهر (25-2) حيث نلاحظ ان المعادلة المعدلة (10-4) قد فسرت لماذا نقل قدرة الايقاف في النظرير. وايضاً نلاحظ ان المعادلة المعدلة تستطيع حساب قدرة الايقاف الالكترونية للطاقات المنخفضة.

##### قدرة الايقاف الالكترونية لمركبات البوليمر: electronic stopping power of polymer

وتم حساب قدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا الساقطة على مركبات البوليمر (بولي إيثيلين ، بولي ستيرين ، بولي ميثاكريلات الميثيل) من المعادلة (31-2) وتم مقارنتها مع النتائج المحسوبة من برنامج (srim) وقد وجد ان قدرة الايقاف الالكترونية في المركب تعتمد على طبيعة وطاقة الجسيم الساقط وعدد ونوع العناصر المكونة منها المركب، حيث نجد ان قدرة

الايقاف في البولي ايثيلين اكبر لانه يحتوي على عنصرى الهيدروجين والكاربون وكذلك قدرة الايقاف في العنصر. وان برنامج اسريم يعتمد في حسابه لقدرة الايقاف على العدد الكتلى للعنصر ونوع وعدد العناصر في المركب. وقد اوضحت هذه الدراسة توافقاً مع الدراسة [66] حيث استنتج ان قدرة الايقاف الالكترونية تختلف اختلافاً ملحوظاً في كل هدف من الاهداف .

**4.3.2 مدى جسيمات ألفا في العناصر والمركبات:**

### **Range of Alpha Particle in elements and vehicles**

#### **مدى جسيمات ألفا في العناصر: Range of Alpha Particle in elements:**

تم حساب المدى لجسيمات ألفا في العناصر (H ,C ,O) من المعادلة (2-20) وتم مقارنتها مع النتائج المحسوبة من برنامج اسريم حيث اوضحت توافقاً معها حيث وجد ان المدى يعتمد على العدد الذري للعنصر وطاقة الجسيم الساقط، نجد ان برنامج اسريم يعتمد في حساباته لمدى العناصر ونظائرها على العدد الكتلى وطبيعة العنصر. وكذلك تم حساب المدى من برنامج اسريم لنظائر الهيدروجين والاكسجين والكاربون ولوحظ ان المدى يقل في العنصر ويزيد في نظيره ويعزى ذلك لزيادة العدد الكتلى للعنصر.

#### **مدى جسيمات ألفا في المركبات: Range of Alpha Particle in vehicles**

تم حساب المدى لجسيمات ألفا في مركبات البوليمر (بولي ايثيلين ، بولي سترين ، بولي ميثاكريلات الميثيل) من المعادلة (2-22) والتي تحسب مدى جسيمات ألفا على اساس الاوزان الذرية للعنصر والنسبة المئوية لمكونات المركب وتم مقارنة نتائج المعادلة المحسوبة مع النتائج المحسوبة من برنامج اسريم حيث اوضحت توافقاً معها، حيث وجد ان المدى في المركبات يعتمد على مدى كل عنصر والوزن الذري للعنصر وعدد العناصر في المركب، حيث نلاحظ المدى في البولي سترين أقل والمدى في البولي ميثاكريلات الميثيل أكبر لانه يحتوي على عنصر الاوكسجين مداه أكبر وعدده الذري أكبر وبالتالي يزيد الوزن الذري للمركب، يعتمد برنامج اسريم في حساباته لمدى المركبات على نوع وعدد العناصر المكونة لذات المركب. وقد اظهرت دراسة المدى للعناصر والمركبات توافقاً مع الدراسة [87] حيث اوضحت الدراسة انه بزيادة طاقة جسيمة ألفا يزداد مدى اختراقها للوسط ، وكذلك مدى جسيمات ألفا يختلف من مركب لآخر مما يعزى الى تأثير الوزن الذري للوسط الماص.

## الخاتمة:

وفقاً للدراسة الحالية لموضوع المدى (Range) وقدرة الايقاف الالكترونية لجسيمات ألفا نخلص بالاتي :

1/ من خلال الحسابات النظرية يتضح ان المدى وقدرة الايقاف يختلف اختلافاً ملحوظاً في كل هدف من الاهداف وفي كل مركب من المركبات .

2/ يعتمد برنامج (srim) في حساباته للمدى وقدرة الايقاف على العدد الكتلي للعنصر و عدد الذرات للمركب .

3/ يعتمد المدى وقدرة الايقاف الالكترونية للمركبات على نوع وعدد ومدى وقدرة الايقاف للعنصر التي يتكون منها المركب .

4/ تبرز أهمية المعادلة المعدلة لحساب قدرة الايقاف الالكترونية للطاقات المنخفضة فقط.

5/ تستطيع نظرية المعادلة المعدلة التي تستخدم صيغة الكتلة النسبية الخاصة المعممة أن تفسر لماذا نقل قدرة وعمق الاختراق للنظائر باعتبار أن اضافة النيوترونات يزيد العزم المغناطيسي ويزيد وبالتالي طاقة الوضع مما يؤدي لزيادة الكتلة وبالتالي تقليل قدرة وعمق الاختراق.

## التوصيات:

من خلال دراستي النظرية وعلمي على هذا البحث انصح المهتمين بمواصلة البحث في موضوع التفاعل بين الاشعاع والمادة وبالتالي:

1/ دراسة تأثير المدى وقدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة في النظائر الاخري (Isotones)

2/ التعمق اكثر في دراسة الخواص النووية للمادة باستخدام معادلات كل خاصية من الخواص مثل المدى وقدرة الايقاف الالكترونية.

3/ التعرض للنظرية النسبية الخاصة المعممة في مفهوم الكتلة النسبية ودراستها بشكل اكبر وتطبيقاتها في مجال التفاعل بين الاشعاع والمادة.

4/ دراسة وتطبيق نتائج المعادلة المعدلة لحساب قدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات المشحونة في الطاقات العالية ومقارنتها مع نتائج برنامج سريم.

المراجع

**REFERENCES**

## المراجع: References:

- [1] عمر عبدالله حسين الهزازي (2008) "كيمياء البوليمرات " جامعة ام القرى ، السعودية.
- [2] ذنون محمد بيربادى ، كوركيس عبدال ادم (1989) " كيمياء الجزيئات الكبيرة المحدث " جامعة الموصل.
- [3] محمد فكري الهادي ، متولي شفيق متولي (2010) " اساسيات كيمياء البوليمرات والغروانيات " الاكاديمية الحديثة للكتاب الجامعي، القاهرة.
- [4] عياد عبدالواحد ، كمال زاهر (2004) " المواد الهندسية بنيتها وخواصها" دار الكتب الوطنية، بنغازي، ليبيا.
- [5] اناتاكر، ترجمة اكرم عزيز محمد (1984) " الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات " جامعة الموصل.
- [6] محمود بركات فؤاد بركات (2010) "الكيمياء النووية والاشعاعية في خدمة البشرية " دار الفكر العربي، القاهرة ، مصر.
- [7] سهام محمود حضاونة (2014) " اساسيات في العلوم العامة " دار المناهج للنشر والتوزيع عمان ، الاردن.
- [8] عبد الرحمن محمد عبدالله المفقاع العريفي (1993) " تحضير واستخدام بعض اكاسيد المعادن في فصل بعض النظائر المشعة " جامعة الملك سعود، كلية العلوم – قسم الكيمياء، السعودية

[9]Csete, A. (2002) "Experimental Investigations of The Energy Loss of Slow Protons and Antiprotons in Matter" , M.Sc. Thesis , Institute of Physics AAnd Astronomy , University of Aarhus 1-8 . .

[10]Getachew A.(2007)" Stopping Power and Ranges of Protons of various energies in different materials",M.Sc. Thesis, Addis Ababa university,P.P.1-40.

[11] Turner J.E.(2004) "Interaction of ionizing radiation with matter " ,Health Physics Society,p.p.228-252.

[12] A. K, Chaubey and H. V. Gupta, (1977)" New empirical relations for stopping power and range of charged particles " , revue de physique appliquée , Vol. 12, p.p. (321-329) ,.

[13] Knoll, F.G.,(1979) "Radiation Detection and Measurement", (John Wiley and Sons, New York

[14] أحمد محمد السريع ، محمد فاروق (2007) " الفيزياء الإشعاعية " جامعة الملك سعود

السعودية

[15] محمد صفوت اليوفي (2010) " فيزياء الطب النووي " دار النشر للجامعات ، القاهرة

[16]عذاب طاهر الكنانى (2008) " الفيزياء الإشعاعية" دار الفجر (ط1) بغداد العراق .

[17]Dr.Steve Peterson (2015)"Radiation Interaction & Detection"  
Department of Physics University of cape town..

[18] S.F.Khor , Z.A.Talib , H.A.A.Sidek , W.M.Dand and B.H.Ng(2009)  
"J.Am.Applied Sci." , 6 , 1010-1014.

[19] Luca Fontana, Mario Santoro, Roberto Bini, Diep Q. Vinh, and Sandro Scandolo (2010)"High-pressure vibrational properties of polyethylene", the journal of chemical physics 133, 204502.

[20] أريج رياض سعيد ، سه وينج نور الدين رفيق (2011) " دراسة الخصائص الميكانيكية

لمتراكبات البولي إيثيلين المدعوم بدقائق مسحوق الصدف " مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد

(29) العدد (15)



[21] علي السيد ، زكي العجمي ، محمد نضال الرئيس (2007) " تأثير جرعات التشبيك الاشعاعي

في الخواص الميكانيكية للبولي ايثيلين " مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، المجلد (23) العدد 2

[22] اكرم عزيز محمد (1993) " كيمياء اللدائن " جامعة الموصل .

[23] كوركيس عبد ادم، د. حسين علي كاشف الغطاء (1983) " تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات "

كلية العلوم ، جامعة البصرة .

[24] Thermoplastic polymers(2002):" blown polyethylene films and polyacrylonitrile copolymers" department of chemical Engineering .

[25] Andrew J.Peacock(2000) "Hand Book of Polyethylene, Structures, Properties, and Applications" Baytown, Texas

[26] Hussein A. Shnawa, Nadum A. Abdulah and Faise J. Mohamad(2011) "Thermal Properties of Low Density Polyethylene with Oyster Shell Composite": DSC Study, World Applied Sciences Journal 14 (11): 1730-1733

[27] Abdullah A. Hussein, Rusel D. Salim and Abdulwahab A. Sultan(2011) "Water absorption and mechanical properties of high – density polyethylene/egg shell composite" Journal of Basrah Researches ((Sciences)) Volume 37, Number 3A/ 15 June .

[28] Sarikanat M., K. Sever, E. Erbay, F. Güner, I. Tavman, , A. Turgut, Y. Seki, I. Özdemir(2011) " Preparation and mechanical properties of graphite filled HDPE nanocomposites" International Scientific Journal published monthly by the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering

[29] Tavman I., Y. Aydogdu, M. Kök, A. Turgut, A. Ezan (2011) "Measurement of heat capacity and thermal conductivity of HDPE/expanded graphite nanocomposites by differential scanning calorimetry" International Scientific Journal published monthly by the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering

[30] لينا بهنام (2003) " دراسة الخصائص الفيزيائية للبوليمرات المشاركة لمادة بولي سترين "

الجامعة المستنصرية ، كلية التربية – قسم الفيزياء .

[31] Goldman, M., Gronsky, R., Ranganathan, R., pruit. L.(1996) “Pol.”, 37, 14, 2909

[32] صبا جميل (1996) " تأثير أشعة كاما على بعض الخواص الضوئية لأغشية البولي ايثيلين

المشوب بالانثراكوينون " كلية التربية ، الجامعة المستنصرية

[33] Torikai, A., Sekigaw, Y. and Fueki, K.(1988) “Poly. Deg and Stab.” 21. 43-54.

علي فليح عجام ، نبيل محمد علي العبيدي (1989) " الكيمياء الصناعية وخاماتها" كلية التربية [34]

، جامعة البصرة .

[35] سحر عيسى (1991) " تأثير الموجات فوق السمعية على التركيب الجزيئي لمحلول بولي

ستايرين المرصوص والمذاب في مذيبات مختلفة " كلية العلوم ، الجامعة المستنصرية

[36] Tager, A.,(1978) “Physical Chemistry of Polymers”, Mr. Publ, Moscow

[37] Perepechko, I.I.(1981) “An Introduction to polymer physics”, Mr publ, Moscow, 16,

ستريبيجيزوف ، ديريفيتكايا ، سلوتيمكس (1972) " مبادئ كيمياء البوليمرات " دار مير للنشر [38]

والطباعة ، موسكو .

[39] Ade, H.,(1999) “Euro. Phys. Let.”, 45, 4, 526-532,

[40] Koenig, J.L.(1992) “Spectroscopy of Polymers”, Amexican Chemical Society, Washington,

[41] Roy, W. Tess, Gray, W. poehlein,(1985) “Applied polymer Science”, 2nd Edition,.

[42] Billmeyer, F.W.Jr.,(1971) “Text Book of polymer Science”, 2nd Edition, John Wiley and Sons Interscience, New York,

[43] Krerelen, W. van, (1976)“properties of polymer”, John Wiley and Sons, New York .

[44] Brochu, S., Prudhomme R.E., Barakat I., and Jerome H.,(1996) “Macromol.” 28, 15, 5320-5239,

دروزدوف ونيكولين (1973) " الخصائص الكهربائية للموصلات والعوازل" دار مير للطباعة [45]

والنشر ، موسكو

[46]عباس جواد (1997) " دراسة تأثير أشعة كاما على الخواص الفيزيائية لبعض العوازل الكهربائية البوليمرية " كلية ابن الهيثم .

[47] ناهل بشير سلمان (1983) " دراسة تأثير رقائق بيتا على لزوجة ومتوسط الوزن الجزيئي PMMA " كلية العلوم ، جامعة بغداد

علي عبد الحسين سعيد (1983) " الكيميائية الاشعاعية وتأثيراتها " كلية العلوم ، قسم الكيمياء [48]

، جامعة البصرة.

[49] زينب سعد واخرون (2008) " استخدام التقنيات النووية والذرية في التحليل العنصري النظائري "، الهيئة العربية للطاقة الذرية ، تونس .

[50] Turner,s J.( 1995), " Atoms, Radiation and Radiation Protection" 1-9.

[51] Al- Jobouri , M. 2004,"Energy Resolution Power of The Plastic Nuclear Track Detector PM-355 For Alpha Particles and The Effect of The Heating Treatment" , M.Sc.

Thesis ,Unversity Of Tikret .

[52] AL- Obiady ,N .J. 2001," Kintetic , Free Electron Gas and Harmonic Oscillator Theories Of Particle Stopping In Medium", M.Sc. Thesis , AL – Mustansiryah University.

[53] Ahmed ,S. 2007,"physics and Engineering of Radiation", Queen,s University, Kingston, Ontario .

- [54] Kadhum ,R. A. 2005,"Impact – Parameter Dependent of Electronic Stopping Power " , Al- Mustansiyah University .
- [55] Annunziata,M .2003,"Nuclear Radiation ,Its Interaction With Matter and Radioisotope Decay".
- [56] Al- Qysi , M. (1986),"Radio Chemistry" .
- [57] Aziz ,S.A. 2000,"Chemical Effect on Bethe – Bloch Stopping Formula , M.Sc. Thesis,Al- Mustansiryah University .
- [58] Petola ,J. 2003,"Stopping Power for Ions and Clusters In Crystalline Solids" , University of Halsinki, Report Series In Physics ,HU-P-D108

[59] محمود قاسم الفخار واخرون (2006) " الفيزياء النووية والاشعاعية " ليبيا – بنغازي جامعة  
عمر المختار .

[60] محمد عبدالرحمن ال الشيخ واخرون (2004)"هندسة الاشعاع النووي" ط1 المكتبة الوطنية  
جامعة الملك سعود ، الرياض ، السعودية.

[61] محمود حامد عطية واخرون (2005) " المخاطر الاشعاعية بين البيئة والتشريعات القانونية "   
القاهرة ، دار الفكر العربي للنشر .

- [62] Tufan, M.C. And Gumus , H. (2008) ,Stopping Power Calculation of Compounds  
By Using Thomas – Fermi – Weizacker Density Frunctional , Acta Physica Polonic A ,Vol.114, No.4,PP.703-710.
- [63] Alexandru C. , (2002) , Experimental Investigations of The Energy Lossoof Slow Protons and Antiprotons in Matter , M.Sc. Thesis , Instituse of Physics and Astronomy , University of Aarhus ,1-8 .
- [64] Kadhum ,R. A. (2008)," Damping Effect of Stopping Power for the Heavy Ions at Fast and Low Velocities" 213-221.
- [65] Al- Da,amy , S.A. (2008)."Quantum and Classical Treatment of Electronic Stopping for Clusters Ions", M.Sc. Thesis,Al- Mustansiryah University
- [64] Kadhum ,R. A. (2008)," Damping Effect of Stopping Power for the Heavy Ions at Fast and Low Velocities" 213-221.

- [66] Armin.L. and Alejandro.S. (2009)," Stopping power of antiprotons in H, H<sub>2</sub>, and He targets",Inst Phys,D-10117.
- [67] Peter.S. and Schinner , A. (2010)" Stopping of swift hydrogen diclusters: Oscillator model",Inst .Exp,A-404
- [68] James F. Ziegler<sup>1</sup>, M. D. Ziegler<sup>2</sup> and J. P. Biersack, (2010)" The Stopping and Range of Ions in Matter" Phys Dept,MD,21402,Zigler@SRIM.org.8- Saba Abed Al-Zahra
- [69] Moussa, D. S. Damache, S. Ouichaoui, (2010)" Effects of the projectile electronic structure on Bethe–Bloch stopping parameters for Ag" , Nucl. Ins and Methods in Phy .Res. B 268 PP. 1754–1758
- [70] Abuirqeba ,W. N. J. (2011) ,"Studying of Electronic Stopping power For Heavy Charged Particles",B . SC . Physics, University of Kufa.
- [71] Mubarak Dirar(2016) ,"Generalized The General Relativity Using Generalized Lorentz Transformation” International J.of Innovative Science, Engineering & Technology , vol.3 Issue, April .
- [72] M.Dirar etal ,(2013) Natural science , V.S,N.6,685-688
- [73] Bichsel H ,(1992) " Stopping Power and Ranges of fast ions in heavy element" phys.Rev.A,Vol.46,No.9,p.5761-5773 .
- [74] Ziegler.F.J,( 1999)"The Stopping of Energetic Light Ions In Elemental Matter" ,J.App.Phys.Rev.Appl.Phy.851249-129.

[75] فراس عائد نجم (1999) "دراسة تأثير الجسيمات المشحونة و الضغط والرطوبة على

الخصائص الكهربائية لبعض المواد العازلة"، رسالة كلية العلوم، الجامعة المستنصرية

[76] Kadhum ,R. A. 2005, "Impact – Parameter Dependent of Electronic Stopping Power ", Al- Mustansiyah University .

[77] اسماء عماد عيد حسن النعيمي (2005) " دراسة الخواص الكهربائية والبصرية للبوليمرات

الخطية النقية و المشوبة بالمركبات Zn o , cu so " كلية العلوم، جامعة الموصل.

يحي نوري الجمال ، زهراء بديع الدباغ (2005) " تأثير أشعة كاما على الخواص الكهربائية

[78]

لمتسعات ذات الغشاء الرقيق من بولي ميثاالكريلات الميثيل " مجلة علوم الرافدين، المجلد  
17، العدد 2

[79] Kabadayi ,O.2006,"Range Of Medium and High Energy Protons and Alpha Particles In NaI Scintillator" , Acta Physica Polonica B , Vol.37,No.6

[80] علي السيد (2007) " تشعيع المواد البوليمرية في الاستخدامات الكهربائية في كابلات التوتر

العالي " مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، المجلد (23)، العدد الاول.

[81] A.Mangiarotti, (2007) " A survey Of Energy Loss Calculations For Heavy Ions Between 1 and 100KeV" Physics/061028672,1.

[82] وسن كامل حسن (2011) " دراسة الخصائص الكهربائية لمترابك بولي ستايرين - بنتونايت

والعوامل المؤثرة فيها" مجلة الكوفة الفيزيائية العدد 2

راشد عويد كاظم، شهلة عبد السادة كاظم (2013) "حساب قدرة الايقاف الالكترونية للجسيمات  
[83]

المشحونة باستخدام عامل التصادم " جامعة الكوفة، كلية التربية للبنات - قسم الفيزياء

[84] راشد عويد كاظم ، ايمان حمود عبدالله (2013) " دراسة قدرة الايقاف الالكترونية لايونات الكربون

والاوكسجين في العناصر والمركبات المختلفة "، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية ،  
العدد (5) المجلد (21) .

رؤى سلام كاظم ، راشد عويد كاظم (2014) " اعتماد التصادمات القريبة والبعيدة في حساب  
[85]

قدرة الايقاف للجسيمات المشحونة الثقيلة " ، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية ، العدد  
(4) المجلد (22) .

ايمان حمودعبدالله، راشد عويد كاظم (2015) "دراسة تأثير سرعة القذيفة على قدرة الايقاف  
[86]

الالكترونية للاوساط الذرية (La,Sm,Er,Ta,Au,Pb,U) في مدى طاقة (0.2-1000)Mev ،  
مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية ، العدد (3) المجلد (23) .

[87] ايمان حمود عبدالله (2015) " دراسة مدى الجسيمات المشحونة الثقيلة لبعض العناصر

والمركبات في مدى طاقة (0.3-100) ، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية ، العدد  
(3) المجلد (23)

[88] J. F. Ziegler, J. P. Biersack and M. D. Ziegler, (2008)" SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter" Ion Implantation Press Available at:  
[www.lulu.com/content/1524197](http://www.lulu.com/content/1524197)

[89] J. F. Ziegler and J. M. Manoyan(1989). "The Stopping of Ions in Compounds", , published in Nuclear Instruments and Methods, Vol. B35, 215-228[91] J.F. Ziegler, SRIM 2003, [www.srim.org](http://www.srim.org).

[90] J.F. Ziegler, SRIM 2003, [www.srim.org](http://www.srim.org).

[91] Al- Rubyi ,A .Aziz .1999,"Increase The Range Of Stopping Power of Energies  
( $1 < E(\text{Mev/u}) \leq 0.1$ ) ", MSC. Thesis , Al-Mustansiriyah University .

[92] J.F. Ziegler, SRIM 2000, [www.srim.org](http://www.srim.org).

[93] J.F. Ziegler(1980)" Stopping Cross Sections for Energetic Ions in all Elements", Pergamon Press.

[94] H.H. Anderson, J.F. Ziegler,(1977)" Hydrogen: Stopping Powers and Ranges in all Elements", Pergamon Press,.

[95] J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U. Littmark,(1985)"The Stopping and Range of Ion in Solids", Pergamon Press,.

[96] J. F. Ziegler, J. Biersack and U. Littmark (1985). "The Stopping and Range of Ions in Matter", Pergamon Press

الملاحق

APPENDEIX



## Legal Notices about SRIM

### ***SRIM may be copied and distributed freely.***

*However, no commercial use may be made of the code, the associated files, or of its results (e.g. you may not incorporate any part of SRIM in a commercial product) without a written license from SRIM.org. See legal note below for details.*

This program is quite complex and is undoubtedly full of little bugs. You are encouraged to send any comments to J. F. Ziegler at Ziegler@SRIM.org. E-mail is usually answered immediately.

---

Program name: SRIM (PC version only)

Copyright: SRIM.com, 1984 , 1986, 1989, 1991, 1992, 1994, 1995, 1998, 2000, 2003, 2008, 2011. All Rights Reserved

#### ***SRIM.com Research Software Disclaimer***

As experimental, research software, this program is provided free of charge on an "as is" basis without warranty of any kind, either expressed or implied, including but not limited to implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. SRIM.com does not warrant that the functions contained in this program will meet the user's requirements or that the operation of this program will be uninterrupted or error-free. Acceptance and use of this program constitutes the user's understanding that he will have no recourse to SRIM.com for any actual or consequential damages, including, but not limited to, lost profits or savings, arising out of the use or inability to use this program. Even if the user informs SRIM.com of the possibility of such damages, SRIM.com expects the user of this program to accept the risk of any harm arising out of the use of this program, or the user shall not attempt to use this program for any purpose.

#### ***User agreement:***

By acceptance and use of this experimental program the user agrees to the following:

- This program is provided for the user's personal, non-commercial, experimental use and the user is granted permission to copy this program to the extent reasonably required for such use.
- All title, ownership and rights to this program and its associated files and

any copies remain with SRIM.com, irrespective of the ownership of the media on which the program resides.

- The user is permitted to create non-commercial derivative works to this program. However, all copies of the program and its derivative works must contain the SRIM.com copyright notice, the *Experimental Software Disclaimer* and this *User Agreement*.
- By furnishing this program to the user, SRIM.com does NOT grant either directly or by implication, estoppel, or otherwise any license under any patents, patent applications, trademarks, copyrights or other rights belonging to SRIM.com or to any third party, except as expressly provided herein.
- The user understands and agrees that this program and its associated files, and any derivative works, are to be used solely for experimental uses and are not to be sold, distributed to a commercial organization, or be commercially exploited in any manner.

SRIM.com requests that the user supply to SRIM.com a copy of any changes, enhancements, or derivative works which the user may create. The user grants SRIM.com and its subsidiaries an irrevocable, nonexclusive, worldwide and royalty-free license to use, execute, reproduce, display, perform, prepare derivative works based upon, and distribute (internally and externally) copies of any and all such materials and derivative works thereof, and to sublicense others to do any, some, or all of the foregoing, (including supporting documentation). Copies of these modifications should be sent to:

J. F. Ziegler  
SRIM.com  
2835 Cox Neck Road  
Chester, MD, 21619, USA

## Changes incorporated into versions of SRIM/TRIM

### SRIM-2013

- 2013.00 Several bugs corrected, including bugs in Compound Dictionary. No major changes.
- 2012.04 The SRIM community is deeply indebted to Xiao YU, Beihang University, Beijing, China, for translating the four SRIM Tutorials into Chinese. The SRIM software is downloaded into China about 400+ times every year, and the students will be deeply indebted to him for all his efforts.
- 2012.03 An error in the XY 2D plotting axis was corrected by Hans Hofsaess (Göttingen).
- 2012.02 An error in the Random Number Counter was discovered by Paul Gregory of SuVolta Co. This affected those who ran more than  $10^{31}$  collision events.
- 2012.01 An error in the RANGE-3D datafile was discovered by Hervé Peyre, Université Montpellier, and after his persistent emails, it was corrected.
- 2011.00 Major changes to TRIM by adding 3-D graphics. TRIM also includes very accurate damage calculations using monolayer steps with TRIM.DAT controls (see "Damage" help-button in the upper-right corner of TRIM setup window. This version of SRIM is consistent with the new SRIM Textbook (2008), and the recent paper: "SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter (2010)", J. F. Ziegler, M. D. Ziegler and J. P. Biersack, Nucl. Instr. And Meth., B268, 1818-1823 (2010).  
Note that versions 2011.00 to 2011.06 are all preliminary versions. It usually takes about six months to stabilize SRIM to all the various operating systems.  
Versions 2011.08-2011.10 were various attempts to make SRIM run under Win-7.

### SRIM-2008

- 2008.04 Corrected bug in resuming file of transmitted particles. (Jesús P. de Vicente)
- 2008.03 Made changes to sputtering of targets Z=13 to 21 to omit discontinuity in treatment. Added Help buttons to TRIM plots, and included additional comments. Changed ordinate units for Ion/Recoil distributions to same as for Ions.
- 2008.02 Added Ordinate scales to ion trajectory plots. Removed bug in calc. for gas layers within solid targets. Added Chapters 8 & 9 from SRIM textbook to SRIM Help.
- 2008.01 No changes to basic calculation of SRIM-2003. Many small bugs have been corrected. This version of SRIM is consistent with the new SRIM Textbook (2008). Allows changes of Ion/Energy/Angle during calculation and added to previous TRIM results.

### SRIM-2006

- 2006.01 No changes to basic calculation of SRIM-2003. This upgrade has the following changes:
- (1) You can now download the complete plots showing the experimental/theoretical stopping of any ion in any elemental target. This file is large (20MB+) but it contains over 22,000 experimental data points reported since 1899. These plots may be accessed using the button on the SRIM-2006 initial window.
  - (2) The Error Message "The number of recoils has exceeded SRIM memory" has been fixed. The fix has been tested for up to 1M recoiling atoms in a recoil cascade from a single recoil event, Typically, you run into this problem when you use heavy ions with high energies, approaching a GeV, in which a single collision can transfer a large amount of energy, and the recoiling atom may generate up to a million further recoils. If the number of recoils exceeds the current TRIM memory allocation, the above error message will pop up and explain how to enlarge the TRIM memory to fix the problem. The number of allowed recoils can be increased using the file: /Data/SRIM.cfg. This file contains instructions on how to increase the number of allowed recoils.
  - (3) You can now make a file EXYZ.txt which shows the position of the incident ion at discrete energy points. For example, for Bi(500 keV) you can make

a file showing its position at 100 keV increments. This option is at the bottom of the new TRIM input window, along with a Help and an example.

- (4) You can now enter individual damage energies for each atom in each layer. Hence, silicon in crystalline silicon can have different displacement and Binding energies that silicon in a separate SiO<sub>2</sub> layer. This improves both damage calculations and sputtering calculations.
- (5) The TRIM output window "SHOW LIVE DATA" has been improved. FYI, this is a button in the TRIM window during the calculation. It is on the upper left corner. I think most people don't know it exists, but some people find it very useful for ions with large recoil cascades. They can see what is going on.

There has been NO CHANGES TO THE CALCULATION OF STOPPING POWER OR RANGES.

### **SRIM-2003**

- 2003.30 Added ability to increase maximum number of recoils using file SRIM.cfg.
- 2003.27 Added optional file EXYZ to show ion positions at discrete energies.
- 2003.26 Added optional "Live Data" window to SRIM to show recoil calculations. (2005)
- 2003.25 General release of SRIM-2003 (1/1/2004)
- 2003.25 Final version of SRIM-2003 (1/1/2004)
- 2003.24 Extended Max Energy to 10 GeV/u, plus fixed a few small bugs.
- 2003.23 Added file for Transmission Sputtering of recoil atoms
- 2003.18-22 Added new warnings/coments for special TRIM calculations.
- 2003.17 Minor bug which led to Error 53- "File not found"
- 2003.16 Corrected display of Corrections to Compounds to be same definition as on website.
- 2003.15 Bug in high energy light ions with full collisions corrected.
- 2003.14 Initial versions (.09 to .14) have minor bugs corrected.
- 2003.08 Initial versions (.00 to .08) have significant bugs. Please update to newer versions.
- 2003.00 Totally new stopping powers, with significant improvement for Heavy Ions.  
Introduction of Nuclear Stopping using specific atom/atom calculations.  
**SRIM Module** is batch program to supply stopping and ranges to other software.

### **SRIM-2000**

- 2000.41 Plots available for stopping of H and He ions into elemental targets.
- 2000.40 Expiration date of SRIM led to file parity checks. Corrected.
- 2000.39 Minor improvements. Fixed bug in neutron damage calculation.
- 2000.38 Fixed significant bug in light ion stopping > 1 MeV/u.
- 2000.37 Fixed "European" decimal problem in Stopping/Range tables.
- 2000.36 Many minor improvements from beta-test email.
- 2000.35 Fixed TRIM random numbers, which repeated after 256k cycles.
- 2000.34 Modified PRINT commands for upgraded graphics. Minor bugs fixed.
- 2000.32 Corrected bug in SR calculation of He, Li stopping in heavy gases.
- 2000.31 Corrected bug on Resuming TRIM from an old calculation.
- 2000.3x Introduction of TRIM as full 32-bit software, with unlimited memory.
- 2000.11 Corrected serious bug in transferring compound stoichiometries to TRIM
- 2000.10 Incorporated new high energy stopping power theory (E>1 MeV/u) in SR.  
Setup TRIM to run in a window (not full screen) and in background.  
Allowed TRIM to be run in automatic (batch) mode with no keyboard inputs.  
Fixed bug in using TRIM.DAT file for direct input of recoil data.
- 2000.08 Fixed decimal point (European problem) when use commas instead of periods.  
Changed sputtering to monolayer steps. Add print button to Tables.
- 2000.05 End of beta-test versions. First general release via web-site.
- 2000.01 Converted to Visual Basic beginning in 1998. All programs converted

except the TRIM Monte-Carlo program.

## SRIM-95

- 97.06 Corrected Free-Flight-Path bug for very thin surface layers.
- 96.01 Renamed "TRIM" disk to "SRIM" to avoid confusion with TRIM.EXE program.  
Corrected bug in sputtering calculation (bug only in 96.00 versions).
- 96.00 TRIM now allows up to 8 layers made of up to 12 elements.  
Created new Setup for complex Biological Samples.
- 95.9 Corrected bug in stopping in solid forms of gases (H,He,N,O,Ne,Ar,Kr,Xe)  
Versions 95.0-95.6 in error 200% for very low energies (Baragiola,USA)  
Corrected sputtering calculations so they were compatible to TRIM-SP,  
the Biersack FORTRAN program. (Webb, England)  
Clarified VACANCY.TXT to identify primary-knock-ons. (Littmark,Germany)
- 95.5 Conversion of TRIM to "PowerBasic" with speed increase of 5x !!!  
Corrected bug in stopping of heavy ions in silicon.
- 95.2 Creation of standard Input/Output files for specialized TRIM calculations.  
This allows output from TRANSIT.TXT to be used as input file TRIM.DAT  
for multiple TRIM calculation (Calvino, Barcelona). Corrected bug in PRAL  
in stopping of H and He in compound targets.
- 95.1 Comprehensive change in all Ion Stopping Powers. New theory for heavy ions.  
Reluctantly, stopping in gases is also included, although not too accurate.  
PRAL updated with better straggling algorithm (J.P. Biersack). New feature  
allows the starting of ions within the target, with any energy and angle.

## SRIM-91

- 94.40 Redesigned sputtering tables to give full information. (D. Baldwin, USA)
- 92.20 Corrected scaling of displayed plots of ions (U. Littmark @ Julich)
- 92.15 Corrected sputtering so Resumes TRIM calculation with correct display.
- 92.12 PRAL (quick calculation of ion ranges) - corrected Sn for compounds.  
TRIM - Electronic straggling of ions included for all ions (used to be  
only for H-Li ions. Now use Eq.4-32, the lower of Firsov or Bohr.  
- Corrected energy loss files for very-very deep ions.
- 92.05 Changed Nuclear Stopping Powers for Compounds to be LSS+Bragg's Rule.  
(H. Paul @ Linz, Austria and M. Berger @ NIST, USA).
- 92.02 Corrected neutron/electron damage bug (R. Macaulay-Newcombe @ McMaster).
- 92.01 Corrected Lateral Straggling Bug (H. Paul @ U.Linz, Austria).
- 91.05 Corrected statistical range distribution moments (H. Glawishnig, Siemens).  
Revised Skewness and Kurtosis to fit VLSI modelling conventions.  
Detailed analysis near layer edges to prevent artificial peaks and dips.  
TRIM with No Graphics possible for background calculation.
- 91.04 Neutron/Electron Damage using Primary Recoil File: RECOILS.DAT
- 91.03 Bug fixed for ions with ranges > 1 meter, and more than 1,000,000 ions.
- 91.00 Corrected bug in COLLISION.TXT which listed wrong primary collision atom.  
Added lateral distribution to file COLLISION.TXT  
Reduced memory required for TRIM for non-recoil calculations by 72k.

"TRIM-xx" renamed "SRIM-xx" in 1991 to end confusion between the  
Monte Carlo program TRIM and package of programs titled TRIM-xx.

## TRIM-90

- (EGA three-dimensional TRIM- First general release, Feb.,1990).
- 90.09 Plots of Sputtering Yield vs. Surface Binding Energy.

90.04 Allowed plots for calculation with only one ion.

### **TRIM-89**

- A large dictionary of COMPOUNDS has been integrated into the programs. The stopping of ions in compounds is executed using the formalism described in "The Stopping of Ions in Compounds". Also, a file of vacancy production is made using hot-key "V" while executing TRIM. (NOTE: Early release version 5.0 of TRIM-89 contains a bad bug.)
- 5.5 Added Comments to file TDATA.OLD which contains ion/target data for TRIM. Corrected Energy into Vacancies on main plot. Added AutoSave feature for long calculations.
  - 5.4 Corrected printout of Sputtering if  $< 0.1$  atoms/ion.
  - 5.3 Corrected COLLISION file to correctly account for all cascade recoils.
  - 5.2 Corrected Transmission angle-of-deflection Error.
  - 5.1 Changed Maximum Impact Parameter to Eq.(4-24) instead of (4-20) (page 117)

### **TRIM-88**

TRIM has been converted to Turbo-BASIC from the original FORTRAN. This will allow the use of Enhanced Graphics for future versions. A table of common compounds has been added for convenience. Ion energies up to 2 GeV/amu now available. The transport-equation program, PRAL, has been extended to evaluated compound targets. NOTE: This Version is incompatible with all earlier versions. Earlier data can not be used with this TRIM.

### **TRIM-87**

Added transverse straggling of the ions, and ion sputtering of the surface. Corrected many small bugs in various plots. Changed ion stopping in silicon for  $Z1 < 19$  because of much new data.

### **TRIM-86**

File TRIM.IN changed to make direct changes easier. Set up disk files for Transmitted and Backscattered ion data. Corrected bug in lateral spread of low-Z ions (minor thing).

### **TRIM-86**

Added command "P" which prints out the details of each collision to allow access to the inner workings of TRIM. Major change made in definition of cascade displacements and vacancies to make it agree closely with the assumptions of Kinchin and Pease.

### **TRIM-85**

Original release in 8/85. This version, and all subsequent versions, may differ from the FORTRAN version of TRIM maintained by J.P. Biersack and used on mainframes and advanced workstations.

## -- Stopping Power Version --

SRIM stopping powers have undergone several complete revisions. First there was a six volume series of stopping powers and ranges published by Pergamon Press from 1977-1983. During this period the general framework for a unified stopping theory was developed. The first comprehensive set of stopping powers was published in 1984. This set was then updated in 1988, 1995, 1998 and finally in 2003. Because each version took a separate set of coefficients, the SRIM size became too large for many people to download. Hence, only the stopping of SRIM-2003 is included in the current version. SRIM-2000 contains three earlier versions and may be downloaded separately.

### SRIM-1995

SRIM-1995 was the last comprehensive stopping power compilation. It included all published stopping power papers up to 1991. There were NO changes in the stopping values for high energy particles,  $E/M > 10 \text{ MeV/u}$ , after 1983.

### SRIM-2000

The SRIM-2000 calculation of stopping powers includes all published papers up through 1996. A major improvement was made to the high energy stopping powers of light ions. See J. F. Ziegler, "*The Stopping of Energetic Ions in Matter*", Reviews of Applied Physics, J. Appl. Phys., 85, 1249-1272, 1999. Also, see the figures published in the CD-ROM (available 2000) which shows the values of the current calculation, the values of SRIM-1995, two theoretical estimates for low-velocity stopping, and all available data.

The high velocity stopping values for ions faster than  $1 \text{ MeV/amu}$  may be altered by editing the file **SRIM2000\Data\IONIZ.DAT** and changing the "Mean Ionization Potential",  $\langle I \rangle$ , for any element. This term is defined in Bethe-Bloch theory. The value should be changed for elements which occur in compounds with band-gaps dissimilar to that of the elemental material. Usually, a band-gap increases the effective value of  $\langle I \rangle$  and hence decreases the calculated stopping powers. There is no accurate theory about how much shift is required for compounds.

Currently, there is a small discontinuity in tabulated stopping powers at  $1 \text{ MeV/u}$  because the low-energy stopping theory has not been smoothly joined to the high-energy theory. This will be corrected in early 2000.

### SRIM-2003

The SRIM-2003 calculate is based on a expanded, more detailed calculation of stopping based on the model proposed by Werner Brandt. See the paper: '**Effective Stopping Power Charges of Swift Ions in Condensed Matter**', *Phys. Rev. B*, 25, 5631-5637 (1982). The original paper was calculated using a Bohr Atom for both the ion and projectile. This has been expanded using realistic and detailed quantal atoms for both the ion and target, and has greatly improved the stopping of Heavy Ions in matter.

## Special Applications of TRIM:(4)ملحق

### Ions starting with varying Energies, Angles and Depths

- Calculating Plasma Ions Hitting a Solid
- Simulating a Receding Surface from Sputtering
- Simulating Reactor Radiation Damage in Metals

Sometimes users wish to consider incident ions with various energies, with various angles of incidence and possibly starting at various depths. For this application the data file, *TRIM.DAT*, is used, see Table 1 below. It can be used to simulate the ions from a plasma hitting a surface (various angles and energies), e.g. solar wind effects on planetary materials. It can be used to simulate a receding surface with subsequent ions starting at increasing depths, e.g. from ion sputtering effects. Or it can be used to simulate nuclear reaction processes, e.g. neutron induced alpha-particles created throughout reactor materials.

The top of file *TRIM.DAT* contains 10 lines of comments, which are not used in the TRIM calculation. (Ignore the special fonts used in the figure for emphasis; the data file on the disk will be in simple ASCII format.) One of the data lines, as noted in the sample file, will be included as an identifying comment in all output files (named \*.TXT) which tabulates the statistics of each collision. This is the line: *Ar Plasma Ions into Si (1000A thick) (Energies 20-80 keV, Various Angles)*.

**Table 1- *TRIM.DAT* - Sample File for Varying Energy, Angle and Depth**

<b>TRIM.DAT: TRIM with various Incident Ion Energies/Angles and Depths</b>								
<i>Data Format: Top 10 lines</i> are user comments, with line #8 describing experiment.								
<i>Data Format: Line #8</i> will be written into all TRIM output files ( various files: *.TXT).								
<i>Data Format: Data Table</i> line consist of: EventName(5 char.) + 8 numbers separated by spaces.								
<i>Data Format:</i> The Event Name consists of any 5 characters to identify that line.								
Typical Data File is shown below, with a variety of numerical formats, all acceptable.								
Note that $\cos(X) = 1$ for normal incidence, and $\cos(X) = -1$ for back towards the target surface.								
>> <i>Ar Plasma Ions into Si (1000A thick) (Energies 20-80 keV, Various Angles)</i>								
Event Name	Atom Numb	Energy (eV)	Depth X (Å)	Lateral-Position Y (Å) Z (Å)			----- Atom Direction ----- Cos(X) Cos(Y)	
A-1 .000000	18	12345	0	0	0	1.00000	.000000	-
abcde .003415	18	54321	0	0	0	0.62344	-.295513	
AA#1 .017437	18	1.31E4	123	0	-154	0.34234	-.336437	-



C-3 .443483	18	123.55	1230	432	12.3E2	-0.23258	-0.543453	
AA-1 .000017	18	0.123E2	0	-10	-12	0.99998	.000012	-

Table 1 shows the data format for several ions using various numerical styles to show how to specify numbers (all are acceptable). The numbers must be separated by spaces or commas. The first column is a five character ID which will be displayed on the screen while that ion is active. Columns 2-3 show the ion atomic number and energy (eV). Column 4 indicates the depth (Å) in the target where the ion begins: this is its x-axis coordinate. The depth must be a positive number. Columns 5-6 are the initial lateral position of the ion (Å). TRIM normally uses (0,0,0) as the starting coordinates of the ion. The ion's starting position is always randomly modified within an atomic diameter so that successive ions starting, for example, at (0,0,0) will not have the same impact parameter. The incident angle of the ion is specified by its directional cosines, columns 7-9, with the x-axis corresponding to depth into the target. For normal incidence, the three directional cosines are: 1,0,0. Note that cos(X) is positive when the ion is going into the target, and negative when moving towards the target surface. The TRIM.DAT file may be up to 99999 lines long. If any illegal input values are discovered, an error message is displayed on the screen and that input line is skipped.

As an example, a file **TRIM1.DAT** is included in SRIM, located in the subdirectory: */SRIM Tools*. This file contains data similar to that shown in the box above for Ar ions (20-80 keV) incident on a Si target (1000 Å thick) To illustrate various modes, we start the ions at different angles and at different depths in the target. To use this file to make a TRIM calculation, do the following:

Copy the file **TRIM1.DAT** into the main SRIM directory. Rename it **TRIM.DAT**.

Start SRIM. Go to TRIM.

- In the upper right of the TRIM Setup window is a pull-down menu called: *Type of TRIM Calculation, DAMAGE*. Select item (5), “*Varying Ion Energy/Angle/Position (full cascades) using TRIM.DAT*”.
- Go through the ion type, mass and energy for **Ar** ions at **80 keV**. *Note that you must use at least the maximum energy of ions which occurs in the TRIM.DAT file, column 3.*
- In the Target Data window, use the Periodic Table, **PT**, to enter the element **Si**.
- Specify **1000** Angstroms for the Width of the layer
- Use the defaults to specify target density and description (**2.32** g/cm<sup>2</sup> and **Silicon**).
- Specify no other layers
- The rest of the inputs are optional. When done, press **Save Input & Run TRIM**.
- A window will pop-up confirming that you want to run using TRIM.DAT. Click on **OK**.

TRIM will load and start executing. The calculation will go VERY FAST since there are only a 5 ions specified in TRIM.DAT (see Table 1). To be sure that things work OK, we have deliberately included an error in the input file. *The Event in line 4 in Table 1 contains a mistake (depth > 1000 Å) to illustrate the error messages associated with using TRIM.DAT.* TRIM tries to check that the input conditions are within specifications of the TRIM Setup that you constructed, but there is always the chance of a crash.

When you run your own calculation, be sure that the ion that you specify in the TRIM Setup has an energy larger than any ion in your TRIM.DAT, and that the target is thick enough to include all the ions and recoils. Also, the numbers in TRIM.DAT must follow the convention of using a period for a decimal place. No commas!

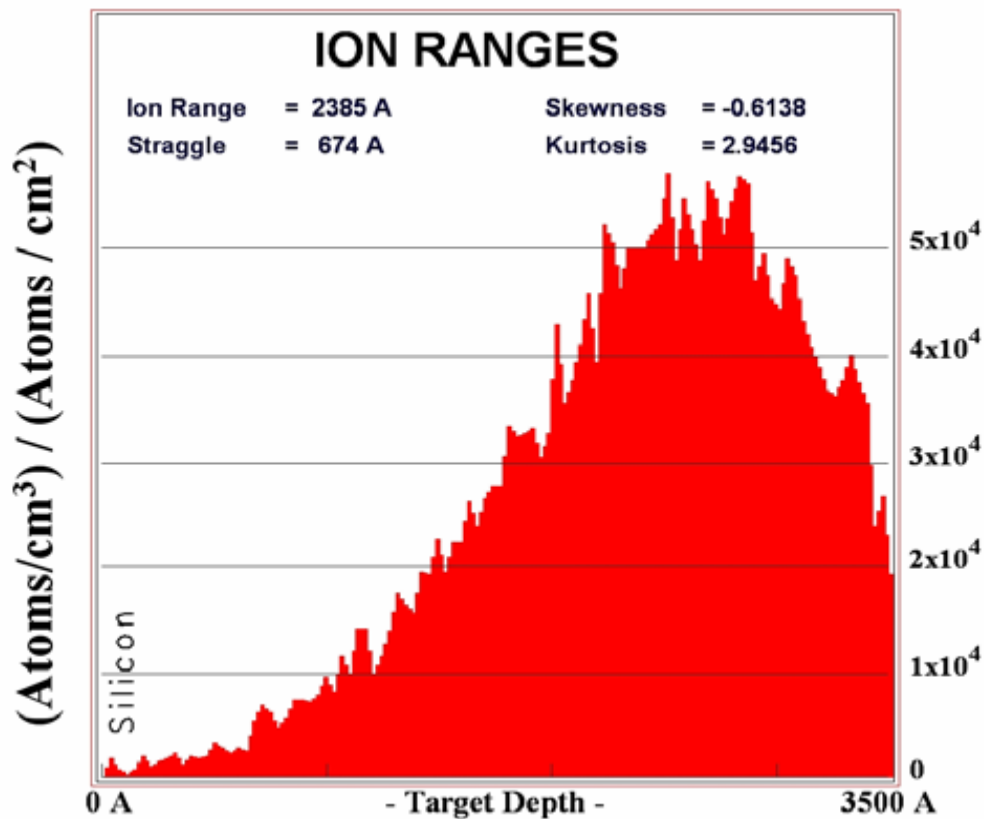
This application of TRIM was suggested by: K. Bodek, PSI, Switzerland, F. Calvino, Barcelona, Spain and many others.

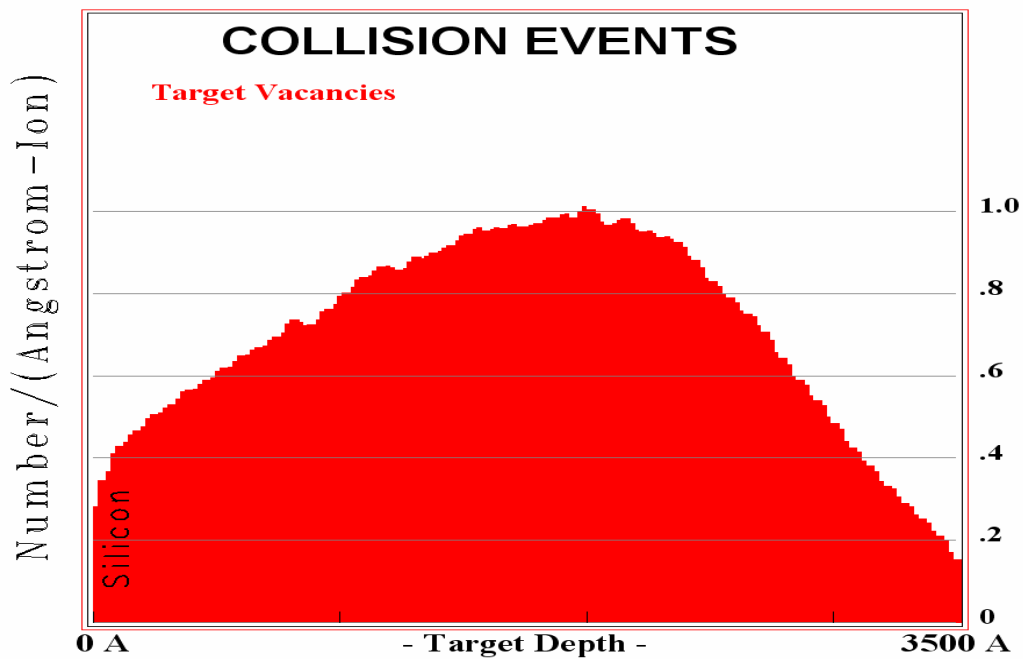
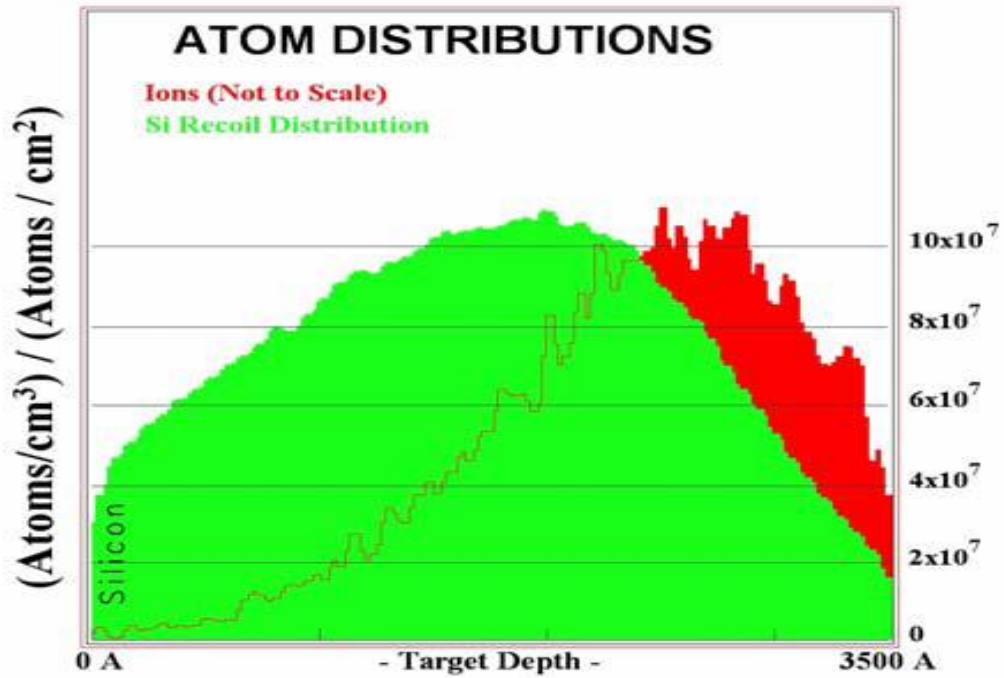
## Introduction to Ion Ranges, Doses and Damage

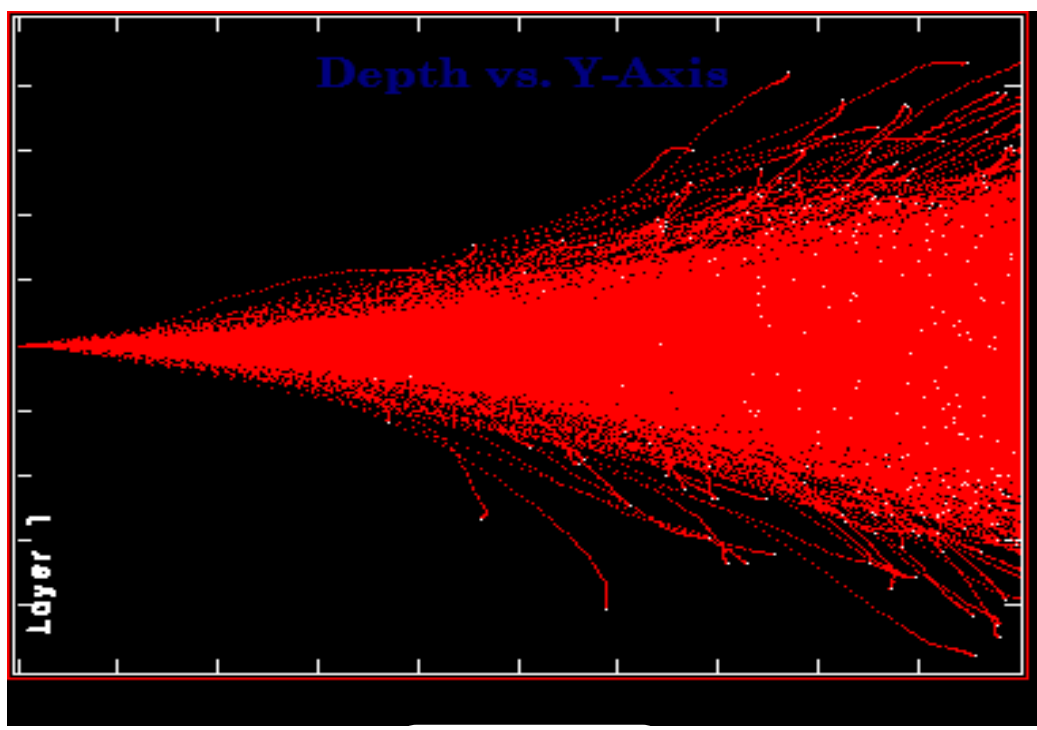
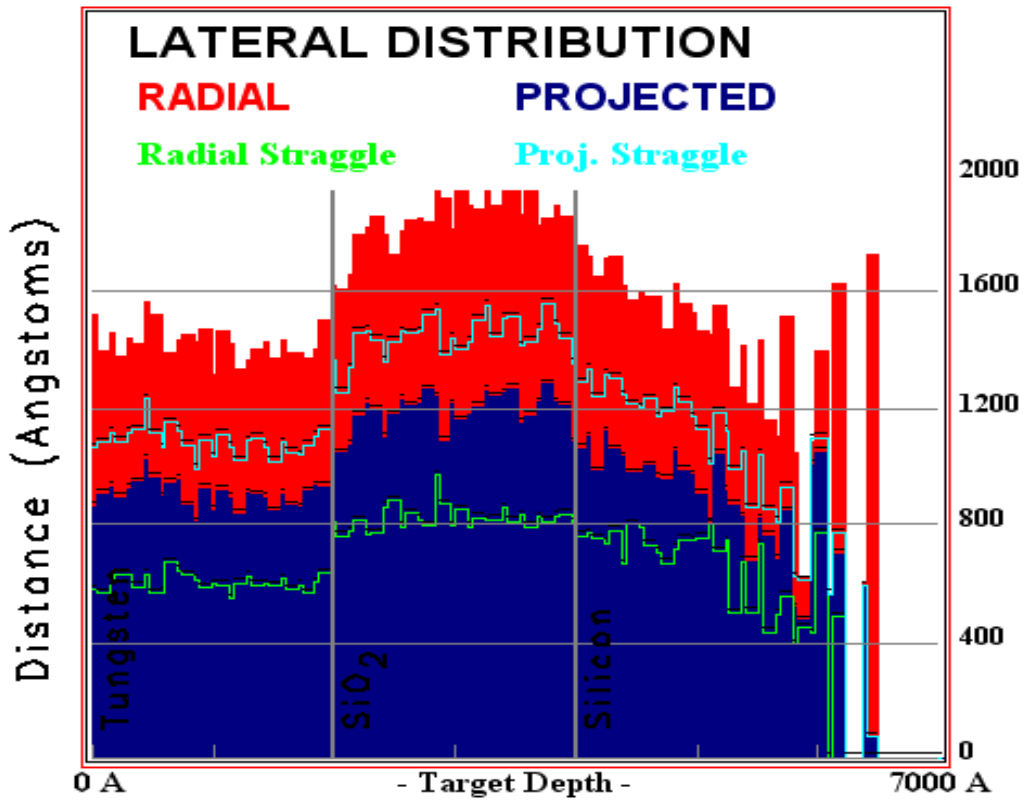
This Tutorial will cover how to find the energy and dose of ions required to implant atoms into a target at a given depth and concentration. To illustrate this, we will assume that we wish to implant the n-well of a CMOS semiconductor device. The implanted ions should be an n-type dopant (implanted atom) in silicon and have a peak concentration depth (*projected range*) of

about 250 nm (2500Å) below the silicon surface. The peak dopant concentration should be  $5 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>. Although this seems complicated (especially if you are not an electrical engineer) it merely asks that ions of elements phosphorus (P) or arsenic (As) or antimony (Sb) be directed into a silicon target to a certain depth and concentration (atoms of P, As and Sb are all n-type dopants to silicon).

As an additional limitation, we will assume that your implanter (accelerator) is limited to 200keV. [Note: TRIM sometimes uses Å units because this is about the width of a monolayer of atoms in a solid.  $10 \text{Å} = 1 \text{ nm}$ . These units are common in assessing target microscopic damage.]

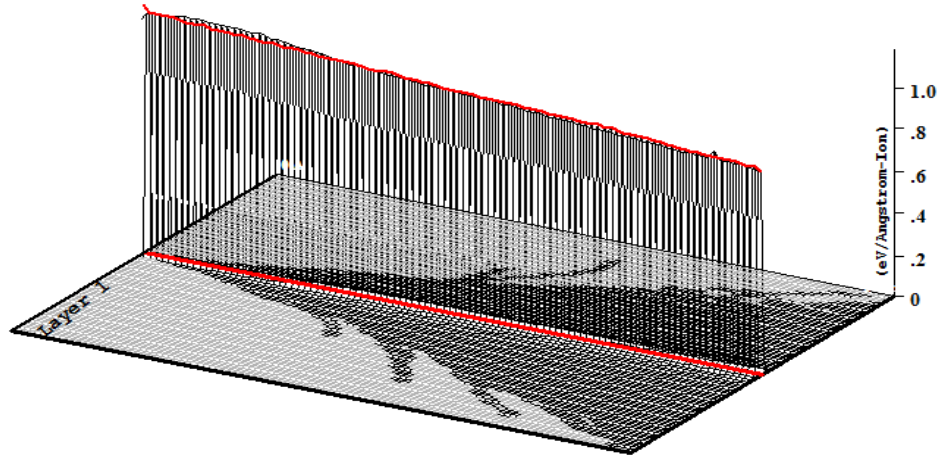






## Target Ionization

Total Ionization = 49138.3 keV / Ion  
Total Phonons = 776.2 keV / Ion  
Total Target Damage = 85.42 keV / Ion



Plot Window goes from 0 A to 1 um; cell width = 100 A  
Press PAUSE TRIM to speed plots. Rotate plot with Mouse.

**Ion = He (50. MeV)**

