وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية الاساسية

قسم العلوم – فيزياء

قياس نسبة التلوث الاشعاعي لرئاسة جامعة بابل

بحث مقدم من قبل الطالبين:

محمد علي عامر عبد العباس

مواهب محسن ماضي

و هوه جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء

بإشراف

د. سفير عبدالكريم

1443ه بابل 2022

بسم الله الرحمن الرحيم

(فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً ۖ وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ)

صدق الله العلي العظيم

سورة الرعد ، الآية17

(أ)

الاهداء

قد طال تفكيري

لمن انسب الاهداء اليه

فوجدت انك سبحانك ربي

فوق كل شيء

فمنك يا رب تعلمت

و اليك اهدي ما علمتني

من لا يشكر الناس ... لا يشكر الله

نتقدم بالشكر أولاً وأخيراً لله سبحانه وتعالى الذي وفقنا في انجاز هذا البحث ...

الى الاستاذ الفاضل والمربي الكبير الذي رافق مشوار بحثي

الدكتور سفير عبدالكريم

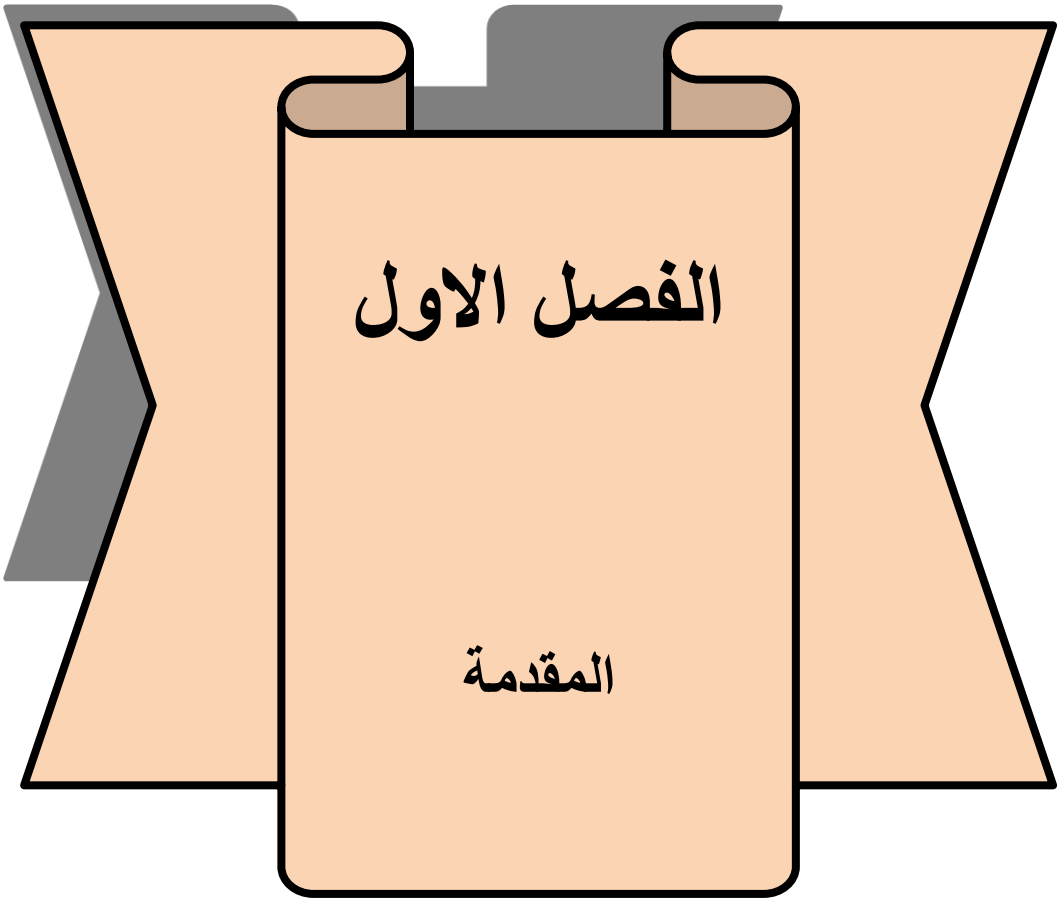
الى.. من صاغوا لي علمهم حروفاً ومن فكرهم منارةً تنير لي سيرة العلم والنجاح لاساتذتي الكرام

فشكرا لكم جميعاً ...

قائمة المحتويـــــات

الموضوع	رقم الصفحة
الإهداء	أ
شكر والثناء	ب
قائمة المحتويات	ج
الفصل الاول	10-2
1-1:النشاط الاشعاعي	**4-2**
2-1: النظائر	5-4
1-2-1: النظائر المستقرة	4
2-2-1 : النظائر المشعة	5-4
3-1 : انواع الاشعاع	8-5
1-3-1: الاشعاع المؤين	8-5
1- حساب الجرعة الاشعاعية	10-9
الفصل الثاني	18-11
1-2 التلوث الاشعاعي	12
2-2: مصادر التلوث الاشعاعي	12
1-2-2: المصادر الطبيعية	13-12
2-2-2: مصادر الصناعية	14-13
3-2: الاثار بيولوجية	14
4-2: العوامل التي تتحكم بالاشعاع:	16-14
5-2غاز الرادون	17-16
6-2: استخدام الرادون	18-17
الفصل الثالث	27-19
1-3: عداد كايكر	22-20
2-3: زمن الاحتجاز	23-22
3-3: طريقة القياس	23
4-3:الجزء العملي	25-23

5-3 الاستنتاجات والتوصيات	27-26
المصادر	31-29
الملاحق	35-32


الفصل الاول
المقدمة

1-1النشاط الاشعاعي Radioactivity decay

النشاط الاشعاعي يمثل طريقة تتم من خلالها تحول الانوية المشعة بصورة تلقائية لعنصر معين الى مجموعة من الانوية لذرات عناصر اخرى تنبعث منها اشعاعات وتكون اكثر استقرارا [1] من العنصر الاصلي قبل التحول ،وتتم هذه العملية عن طريق انبعاث نوع من الاشعاع حسب العنصر نفسه والاشعاعات المتضمنة هي (اشعة كاما - جسيمات بيتا - جسيمات الفا) أي (جسيمات طاقية energy particle مع اشعاع كهرومغناطيسي في معظم الاحيان) ،او يمكن اعطائها تعريف اخر تتضمن عملية تنتج اختلافات في وفرة النظائر ،وهذه للاختلافات في وفرة النظائر هو تجزئة النظائر التي تسببها الاختلافات الكيميائية والفيزيائية الصغيرة بين نظائر العنصر[2].

تم اكتشاف تلك الظاهرة من قبل العالم هنري بيكرل (Antoine Henri Becquerel) في عام 1896 و باكتشافه المميز كان له الاثر الكبير في تقدم وتطور الفيزياء بالمجالات الذرية والنووية ، اذ لاحظ من خلال ذلك تأثير لوح التصوير الفوتوغرافي عند معاملته باليورانيوم الذي لا يمكن ان يبعث الضوء فقط بل هناك نوع اخر من الطاقة تبعث والذي اسماها (الاشعاع) [3] ، بعدها اتت الباحثة ماري كوري Marie Curie في عام 1898 بعد ان حاولت توسيع الدراسة المتعلقة بالنشاط الاشعاعي وذلك بالاعتماد على تعمقها في دراسة عنصر اليورانيوم وكيفية تحول هذا العنصر بشكل مبهم الى عناصر اخرى كالبولونيوم Po^{209} وكذلك الراديوم Ra^{226}، والتي سميت باسم (element gloss) [2].

وخلال التطور الذي شهدته البشرية على جميع الاصعدة كان للنشاط البشري دور مهم في زيادة تراكيز المواد المشعة في الطبيعة البيئية ، تتضمن تلك الانشطة عمليات كالتعدين ،والطحن ،معالجة خامات اليورانيوم وكذلك صهر الخامات المعدنية ،ونقل ومعالجة وحرق الوقود الاحفوري، من خلال هذه الانشطة تم اكتشاف العديد من المواد (العناصر) والتي تسمى النظائر والتي تتميز بكون ان عدد البروتونات يكون متساوياً ولكنها مختلفة في عدد النيوترونات، ان غالبية العناصر سواء اكانت طبيعية او صناعية لها القابلية على التحول باسم النشاط الاشعاعي ومن خلال ذلك نحصل على عناصر جديدة اكثر استقرار وترافق تلك العملية انبعاث اشعاعات ذكرت سابقا.

لذلك فأن الاضمحلال للنوى المشعة يخضع للقانون الاسي الذي يكون مع الزمن[4]

$$N=N_0e^{-\lambda t} \quad \text{.....(2-1)}$$

N_0 عدد نواة الام عند الزمن t=0

N عدد النويدات المتبقية دون انحلال عند t

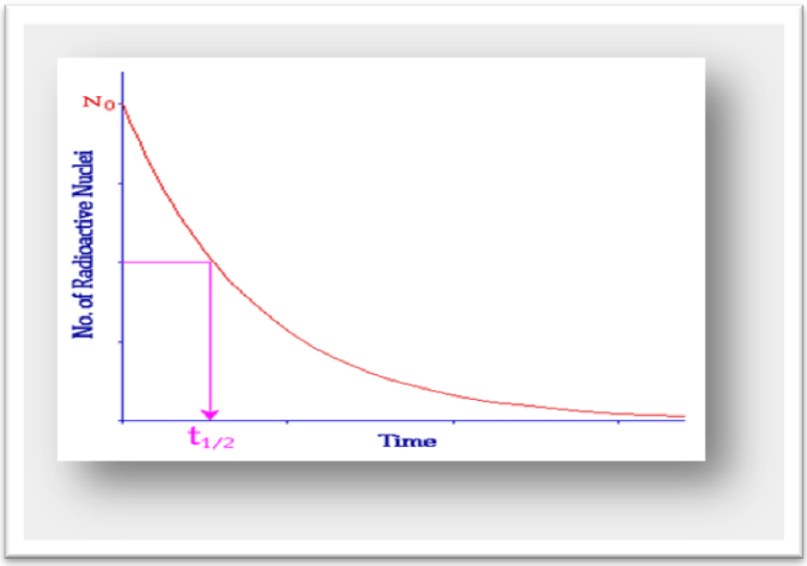
$$\lambda=0.693/t_{1/2} \quad \text{.....(2-2)}$$

λ ثابت الانحلال

t زمن الانحلال(مقدار الزمن اللازم الذي تستغرقه المادة المشعة للتحلل)

$t_{1/2}$ عمر النصف (الزمن الذي يحتاجه العنصر المشع لكي ينحل نصف عدد ذراته)

وتشير الاشارة السالبة الى انه تتناقص اعداد النوى N للمادة المشعة مع وحدة الزمن كما مبين في المخطط التالي(العلاقة بين عدد النوى والزمن):



شكل(1): مخطط العلاقة ما بين عدد النوى والزمن

يقاس النشاط الاشعاعي بوحدة تسمى البكريل (Bq) (وهي تمثل تحلل في الثانية الواحدة)، وتوجد كذلك وحدة اخرى يمكن من خلالها ان نقيس مقدار النشاط الاشعاعي للعينة المشعة وهي الكيوري (Ci)وتمثل الكيوري عدد الاشعاعات الصادرة من كَرام واحد من نظير Ra^{226} في الثانية الواحدة ويساوي حوالي3.7×10^{10} تحلل في الثانية الواحدة (بكريل).

ان الفائدة من النشاط الاشعاعي هو وصول نواة غير مستقرة الى ان تكون اكثر استقرارا بشكل تلقائي ،ان العامل الاساسي لاستقرار النواة يتمثل بنسبة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات الموجودة في النواة فاذا كانت (1:1) تكون النواة اكثر استقرارا، الا ان نسبة الاستقرار النووي المعروفة تزداد بشكل متدرج مع العدد الذري وهي (1:16) بالنسبة للنواة الكبيرة، واذا كانت نسبة البروتونات والنيوترونات صغيرة او اكبر بقليل عندئذ تشير الى نسبة النوى المشعة ،اما اذا كان هناك اختلاف بين الكمية المختلفة والمستقرة وعليها تشير الى ان الخلائط النووية غير مستقرة وغير موجودة في الطبيعة، وفي كثير من الأحيان في أبحاث النشاط الإشعاعي ، يتم إعطاء الانتباه في الغالب لاكتشاف بواعث كَاما والقياس الكمي حتى في البيئة اذ يمكن أن يكون هناك بواعث ألفا وبيتا [5]

2-1النظائر **Isotopes**

النظائر هي عبارة عن ذرات تحتوي نواتها العدد نفسه من البروتونات ولكن تحتوي عدداً مختلفاً من النيوترونات، ان مصطلح "النظائر" مشتق من اليونانية (بمعنى أماكن متساوية) ويشير إلى أن النظائر تحتل نفس المكانة في الجدول الدوري، ويمكن تقسيم النظائر إلى نوعين أساسيين ، مستقر وغير مستقر (مشع)، وتبلغ عدد النظائر المستقرة حوالي 300 ، بينما تم اكتشاف أكثر من 1200 حالة غير مستقرة حتى الآن، مصطلح "مستقر" نسبي ، اعتمادًا على حدود الكشف عن أوقات التحلل الإشعاعي، تعرف النويدات المستقرة المحتوية على مجاميع مختلفة من الكتل تكون عناصر نقية ،اي بمعنى أن لديهم نظيرًا ثابتًا واحدًا فقط، وبما ان جميع العناصر الأخرى عبارة عن خليط من نظيرين على الأقل، وقد تختلف الوفرة النسبية للنظائر المختلفة للعنصر بشكل كبير، ففي النحاس على سبيل المثال يمثل Cu^{63} نسبة 69٪ و

Cu^{65} نسبة 31٪ من جميع نوى النحاس، أما بالنسبة للعناصر الخفيفة فإن أحد النظائر هو السائد أما الآخر فلا يتواجد إلا بكميات ضئيلة،ومن المعروف أن البنية الإلكترونية للعنصر تحدد بشكل أساسي سلوكه الكيميائي ، في حين أن النواة مسؤولة بشكل أو بآخر عن خصائصها الفيزيائية ،ونظرًا لأن جميع نظائر عنصر معين تحتوي على نفس عدد الإلكترونات وترتيبها ، فإن التشابه البعيد المدى في السلوك الكيميائي هو النتيجة المنطقية والافضل ، لكن هذا التشابه ليس بلا حدود لذلك توجد بعض الاختلافات في الخصائص الفيزيائية الكيميائية بسبب الاختلافات في الكتلة، ينتج عن استبدال أي ذرة في الجزيء بأحد نظائرها تغييرًا طفيفًا جدًا في السلوك الكيميائي لها [6] ،لذلك تقسم النظائر الى نوعين وهما:

1-2-1النظائر المستقرة Stable Isotope

النظائر المستقرة هي ذرات لها نواة مستقرة وهي تكون غير مشعة ،ومن الممكن أن يحتوي عنصر معين على أكثر من نظير مستقر، لذلك تجد ظاهرة الاعداد السحرية طريقة تعبر عن الاعداد الذرية للعناصر التي تكون اكثر استقراريه وتشمل نظائر الهيدروجين وكذلك الكبريت، لذلك هي تشكل النسبة العالية الموجودة في الطبيعة[7].

1-2-2النظائر المشعة Radio Isotope

النظائر المشعة تتميز بكونها ذرات لها نوى غير مستقرة ، على سبيل المثال كاليورانيوم لديه نظائر مشعة فقط، ان العنصر المشع يكون غير مستقر لعده اسباب ومن اهم تلك الاسباب هو وجود عدد كبير من النيوترونات مقارنة بعدد البروتونات لذلك في هذا النوع من النظائر ، يحدث التحلل الإشعاعي من أجل الوصول الى حالة مستقرة، وفي بعض النظائر غير مستقرة تحدث بسبب وجود عدد كبير من البروتونات وفي هذه الحالة يمكن تحويل البروتون إلى نيوترون وبوزيترون، وفي بعض الأحيان ، يمكن أن يكون هناك الكثير من البروتونات والكثير من الإلكترونات، هذا يدل على أن الكتلة الذرية عالية جدا، ثم يحدث انبعاث بروتونين ونيوترون كذرة الهيليوم وهذا ما يسمى اضمحلال الفا، في النظائر غير المستقرة ، يمكن قياس التحلل الإشعاعي للمادة وذلك بأخذ بنصف عمرها الافتراضي، وهناك عده انواع من النظائر المشعة كاليورانيوم ونوع اخر يكون خليط ما بين النظائر المشعة والمستقرة كالكاربون[8] ، وهي كذلك تكون أقل وفرة في الطبيعة من النظائر المستقرة، وترجع عدم استقرارها كذلك الى وجود طاقة فائضة موجودة داخل نواة الذرة فتكون في حالة متهيجة ولكي تعود الى استقرارها لابد من التخلص من تلك الطاقة ، وعليه تنتقل نواة الذرة من حالة إلى حالة أخرى ،وتكون النظائر إما أن تكون طبيعية مثل نظائر الهيدروجين، ونظائر اليورانيوم او صناعية ويتم الحصول عليها من تفاعلات نووية كالسيزيوم والباريوم، و بصورة عامة ان الخواص الكيميائية لجميع نظائر العنصر الواحد تكون متشابهة فعلى الرغم من ان الماء الاعتيادي (H_2O) مثلا يتكون ذره اوكسجين وذرتي هيدروجين ولكن الماء الثقيل (D_2O) يتكون من ذرة اوكسجين وذرتي نظير الهيدروجين الاول (الديتيريوم) ولكن في الحالتين للماء نفس الخواص الكيميائية ولكن الاختلاف الحاصل في الخواص الفيزيائية [9][10].

1-3انواع الاشعاع Radiation Types

هناك نوعين رئيسيين من الاشعاعات وهما[11]:

1-3-1الاشعاع المؤين Ionizing Radiation

هي اشعاعات تكون ذات طاقة عالية كبيره جدا ويمكن ان تعمل على تأيين المادة، أي تحويلها الى جسيمات مشحونة (ايونات) تتضمن الاشعة السينية وكذلك اشعة كَاما [12] ، وتتميز الاشعة المؤينة عن غيرها بقدرتها على انبعاث كمية كبيرة من الطاقة خلال مساحة صغيرة جدا، او بمعنى ادق تقسم الى مجموعتين الاولى تنطلق من الذرة والتي تتضمن الاشعة السينية والالكترونات والمجموعة الثانية تنطلق من النواة مثل اشعة كَاما وبيتا [13] ،وعليه تقسم هذه الاشعاعات الى:

1- **جسيمات الفا Alpha particle**

جسيمات ألفا هي نواة ذرة الهيليوم ، أي أنها طاقة مقيدة تتكون من بروتونين ونيوترونين. الترابط القوي لجسيم ألفا يجعلها تتصرف وكأنها نواة بدلاً من جسيم معقد ، باستثناء أنها تحتوي شحنة بروتون مزدوج ، مما يؤدي إلى تفاعل كولوم أقوى بكثير من حالة البروتون. تم الكشف عن انبعاث جسيمات الفا بصورة عامة فوجد انها تنبعث من الاضمحلال الاشعاعي وبالذات العناصر الثقيلة كالراديوم Ra^{226} وكذلك اليورانيومU^{238} ، تمتلك هذه الجسيمات طاقة عالية غير انها تتحرك

ببطء وسبب ذلك كون كتلتها عالية (مقارنة مع بقية الاشعة النووية) [14] لذلك يكون مداها قصير[15] ، وفي وقت لاحق تم تمييز عدد كبير من النويدات المشعة التي تنتج جسيمات ثقيلة كألفا ، ونصف عمرها يختلف بشكل كبير ولكن طاقات الجسيمات عادة ما تكون بين (4 و 7) MeV، بشكل عام تزداد، طاقة الجسيمات ببطء مع زيادة عدد النواة المشعة.

ان معظم جسيمات الفا والتي تكون ذات طاقة عالية والعلاقة ما بين مدى اختراق جسيمات الفا وكذلك وعمر النصف للنواة المشعة وتلك العلاقة تعرف بقانون جايجر – نوتال، وهي تمثل علاقة خطية ما بين لوغاريتم مدى اختراق جسيمات الفا(R) و لوغاريتم عمر النصف ($t_{1/2}$) كما في المعادلة الاتية :

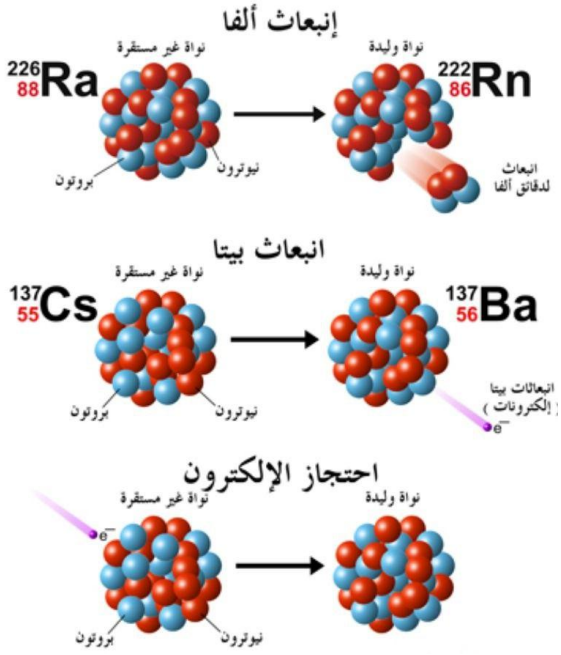
$$-\ln t_{1/2}=a+b \ln R \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}2)$$

ان مدى اختراق تلك الجسيمات يكون قليلاً ذلك كون جسيمات الفا بطيئة الحركة اذ يتم ايقاف تلك الحركة لها باستعمال قطع من الورق او عن طريق الطبقة الخارجية للجلد كونها غير قادرة على الاختراق ، اذا كان هذا التعرض خارجيا، اما اذا كان التعرض داخليا فبمجرد استنشاق او ابتلاع او امتصاص بواعث الفا او دخولها الى الجسم عبر الجروح المفتوحة تكون كافية بالتأثير في الانسجة الحية سلبيا لأن هذه البواعث تعمل على اطلاق كل طاقتها الى خلايا الجسم المحيطة، وعليه فأنها تمثل خطراً كبيراً على خلايا وانسجة الجسم [14] [16].

2-جسيمات بيتا Beta particle

ان جسيمات بيتا هي إلكترونات أو بوزترونات (إلكترون موجب الشحنة) تنبعث من النواة، وتكون سريعة الحركة تنشأ من اضمحلال نووي ضعيف، وقد أدت دراسة أطياف تحلل بيتا إلى اكتشاف جسيم النيوترينو ، وهو جسيم يرافق انبعاث جسيمات بيتا الموجبة والسالبة ويكون النيوترينو أو مضاد النيوترينو على التوالي، وتتقاسم جسيمات بيتا الطاقة مع هذه الجسيمات المنبعثة معها باحتمالية انبعاث عالية للطاقات المتوسطة لجسيمات بيتا، يتعرض الانسان لجسيمات بيتا من مصادر الإشعاع الطبيعية التي تكون محيطه به والتي هي اصلا من صنع الإنسان نفسه ، مثل ^{90}Sr و ^{14}C او من مصادر صناعية كالكوبلت ^{60}CO والسيزيوم ^{137}CS [17].

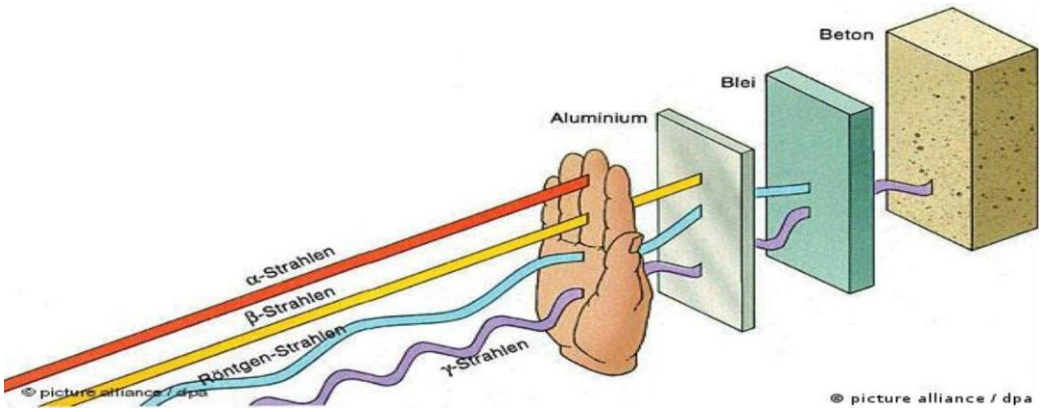
ان جسيمات بيتا أكثر اختراقًا من جسيمات ألفا ولكنها أقل ضررًا ،اذ لها القدرة للانتقال لمسافات كبيرة في الهواء ولكن يمكن تقليلها أو إيقافها بطبقة من الملابس العادية أو استعمال ملليمترات من مادة مثل الألمنيوم او الرصاص، ويمكن أن تخترق جسيمات بيتا الجلد وتسبب أضرارًا، مثل حروق الجلد في حالة بقائها عليها لمدة طويلة، كما هو الحال مع جسيمات ألفا تسبب أيضًا خطرًا عند استنشاقها أو ابتلاعها[14][16].



شكل (2) :يوضح انبعاث الفا

3- اشعة كَاما **Gamma rays**

اشعة كَاما هي عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية تنبعث نتيجة لانتقال النواة من الحالة المثارة الى الحالة الارضية أو على مراحل بالانتقال الى حالة أقل أثارة ، ثم أقل وصولا للحالة الارضية نتيجة عملية نووية أخرى تتضمن انبعاث الفا أو بيتا أو تفاعل نووي اخر ،الغاية من هذه التفاعلات هو للتخلص من طاقة الأثارة [18]، أن أشعة كَاما لديها أعلى قوة اختراق عند مقارنتها بجسيمات الفا وبيتا (alpha and beta particles)، وإن تأثيرات اشعة كَاما داخل وخارج الجسم كبيرة.



شكل(3):يبين مرور اشعة الفا وبيتا

4-الاشعة السينية **X-Ray**

ان الاشعة السينية هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تكون مشابهه تقريبا لموجات الضوء ولكن بطول موجي محصور بين (10000 pm - 10 pm) ، ان الاشعة السينية لا تنبعث من النواة اطلاقا بل نحصل عليها من اعادة ترتيب الالكترونات ما بين مدارات الذرة ،وذلك عن طريق تصادم الالكترونات مع ذرات مادة الهدف، فعند تباطؤ او توقف تلك الالكترونات يحدث انبعاث للأشعة السينية أي تصبح مصدرا لتلك الاشعة[19] ، أو عند انتقال الكترون في غلاف الذرة أو الجزيء من مستوى عال جدا للطاقة إلى مستوى منخفض نحصل على تلك الاشعة، وان الصفة الكهرومغناطيسية للأشعة السينية اثبتت عام 1906 من قبل العالم بيكريل (Becquerel) والذي من خلالها اكد استقطاب هذه الاشعة، كذلك اثبت العالم لاوي (Max Van Laue) عام 1912 ان هذه الاشعة تمتلك طول موجي قصير جدا[20].

5-النيوترونات **Neutrons**

اكتشفت النيوترونات لأول مرة من قبل العالم شادويك(James Chadwick) عام 1932م، اذ عمل على قذف لوح البيريليوم بجسيمات الفا فنتج عن تلك العملية انبعاث جسيمات غير معروفة متعادلة الشحنة اسماها بهذا الاسم، وهو يمثل احد مكونات النواة وتكون كتلة النيوترون اكبر من كتلة البروتون، وان النيوترون الحر غير مستقر يتولد من الانشطار النووي او الاندماج النووي عند توليد الطاقة النووية ، لذلك ان النيوترون هو المنطلق المهم للتفاعلات في سلسلة التفاعلات النووية لانه عند اصطدام نيوترون معين بنواة الذرة معينة وينشأ عن هذا الاصطدام مكونات جديدة تختلف عن المكونات الاصلية الداخلة في التفاعل [21]

و يكون الانتقال الخطي للنيوترونات عالياً لأنها تمتلك قدرة اختراق عالية، لكونها لا تمتلك شحنة يتم ايقافها بمواد ذات عدد ذري قليل تسمى المهدئات (مواد خفيفة مثل الماء وشمع البارافين)، لأنها تتفاعل معها من خلال التصادمات لا سيما مع نوى الذرات ذات مساحة مقطع عرضي للتفاعل كبير مقارنة بما للإلكترونات[14].

1-3-2الاشعاع غير المؤين Non-ionizing Radiation

هي اشعاعات تكون ذات طاقة ضعيفة جدا ، اذ انها لا تستطيع كسر الروابط الموجودة ما بين مكونات المادة، وتشمل الضوء المرئي(Visible light) ،الاشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet rays) ،وكذلك الموجات الدقيقة (Microwaves) والموجات الراديوية (Radio waves)، وتكون الطاقة بمثل هكذا اشعاعات كافية لكي تسبب اهتزاز لذرات المادة ولكنها غير كافية لاقتلاع الكترونات المادة [22].

1-4حساب الجرع الاشعاعية Calculating radiation Dose

1- معدل جرعة جزيئات بيتا

إذا كانت كثافة معدل جرعة جزيئات بيتا تتدفق عند نقطة (φ) (الجسيمات / $cm^2.sec$)يمكن اعطائها بالمعادلة:

$$\phi=S/4\pi R^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}4)$$

طاقة هذه الجسيمات هي E في (MeV) وتدفق الطاقة هي (ϕE)،وعليه تكون جرعة الإشعاع D_β

$$D_\beta = \phi\ E\ (MeV / gm^2.sec) /6.25 \times 10^4\ (MeV / gm.\ mrad). \quad (2\text{-}5)$$

$$=1.6\times10^{-5}\phi E\ (mrad\ sec) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}6)$$

عندما يكون حساب جرعة الإشعاع هو المعدل بالساعة D_β

$$D_\beta=1.6\times10^{-5}\phi E\times3600 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}7)$$

$$D_\beta =0.0576\ \phi\ E\ (mrad / hour) \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}8)$$

وعليه يتم تعريف الجرعة الممتصة على أنها متوسط الطاقة المتحولة إلى مادة لكل وحدة كتلة وذلك عن طريق الإشعاع المؤين.

يمكننا تحديد معدل الجرعة المكافئ كما يلي D_β

حيث ان العامل المرجح للنسيج(Wδ) للـ(B)=1

$$H_\beta=0.0576x\phi Ex1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}9)$$

$$=0.0576\ x\phi E\ (mrem/hour)\ldots\ldots\ldots\ldots(2\text{-}10)$$

او بعبارة أخرى

$$H_\beta=0.576\ \phi\ E\ (mSv / hour) \ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}11)$$

اذ H: نتيجة ضرب الجرعة الممتصة بالعامل المرجح لهذا العضو أو النسيج.

يتم قياس الجرعة المكافئة بالوحدة (Sv) إذا كانت الجرعة تم امتصاصها بوحدة (Gy) وتم قياسها بالوحدة (rem) ، وعليه الجرعة الممتصة تكون بوحدة (rad).

وتجدر الإشارة إلى أن معدل الجرعة الممتصة أو الجرعة المكافئة قليلة مع زيادة المسافة التي يعكسها هذا القانون ، وذلك أيضًا بسبب امتصاص بعض جزيئات بيتا بسبب سمك طبقة الهواء.

بسبب اعتماد الامتصاص على طاقة الجسيمات الساقطة ، يصعب وضع علامة بسيطة بين الجرعة ووضع معدل المسافة ، ولكن يمكن استخدام العلاقة التقريبية التالية لتحديد معدل الجرعة الممتصة ، عندما يعطي النشاط الإشعاعي (S) للمصدر في مسافة (d) وتكون المسافة بوحدة الـ(cm) والطاقة في ميكا الكترون فولت:

$$D_{\beta} = 0.5\ S\ E / d^2\ (mSv / hour) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}12)$$

2- معدل جرعة أشعة كَاما

إذا كان تدفق كثافة فوتونات كَاما (γ) (فوتونات / $cm^2.sec$) وكانت طاقة هذه الفوتونات ثابتة ومتساوية (E) ، فإن تدفق الطاقة هو (ϕ E).

عندما تمر فوتونات كَاما بمسافة عبر جزء معين ،فأن جزءا من الطاقة يتم نقلها والأخرى لا تنتقل ،لذلك ينخفض طاقة الإشعاع لكَاما والطاقة تساوي[79]:

$$1mrad = 6.25 \times 10^4\ Mev / gm \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}13)$$

عندما يكون معدل الجرعة الممتصة (mrad / sec)

$$D_{\gamma} = 0.031 \times \phi\ E / 6.25 \times 10^4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}14)$$

تعتمد هذه العلاقة ادناه على افتراض أن طاقة كَاما تساوي (1MeV)، ومعامل الامتصاص للأنسجة ($0.031gm/cm^2$)

$$D_{\gamma}=4.96\ \phi\ E \times 10^{-7}\ (mrad / sec) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}15)$$

$$D_{\gamma}=4\ .96\ \ \phi\ E \times 10^{-7} \times 3600 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}16$$

$$D_{\gamma} = 0.00179\ \phi\ E\ (mrad / hour) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}17)$$

عندها يكون حساب الجرعة المكافئة من العلاقة الاتية:

$$H_{\gamma} = 0.00179\ \phi\ E \quad \ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}18)$$

$$H_{\gamma}= 0.0179\ \phi\ E\ (mSv / hour) \quad \ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}19)$$

في حالة المصادر النقطية ، يتم حساب التدفق من (φ) العلاقة:

$$\phi = S / 4\pi R^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}20)$$

في التعويض عن (φ) في العلاقة (2-18) ، يكون معدل الجرعة المكافئة:

$$H_{\gamma} = 0.0179\ S\ E / 4\pi R^2\ (mSv / hour) \quad \ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}21)$$

إذا كان التعبير عن النشاط الإشعاعي للمصدر (المصادر) بواسطة ميكَا بكرل ، والطاقة (E) ميكَا إلكترون فولت ، والمسافة (d) بين المصدر ونقطة العداد ، الجرعة المكافئة (mSv/h):

$$H_{\gamma} = 0.0179 \times 10^6 \times S\ E / 4 \times 3.14 \times 10^4 \times R^2 \ldots\ldots\ldots\ (2\text{-}22$$

$H_\gamma = 0.142 \times S\,E / R^2$ ..... (2-23) نظرًا لأن معامل الامتصاص لأشعة كَاما يختلف باختلاف طاقة هذه الإشعاع ونوع الأنسجة (أنسجة العضلات أو العظام) ، يمكن استخدام العلاقة التالية:

$$H_\gamma = S\,E / 6\,d^2 \ (mSv / h) \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}24)$$

وعند حساب النشاط الاشعاعي لابد من وجود وحدات اساسية معمول بها وما زالت بالإضافة الى وجود وحدات جديدة ظهرت بسبب وضع حد معين للتأثيرالبيولوجي وغير البيولوجي لطبيعة النشاط الاشعاعي وكيفية تأثيره على الكائن الحي والبيئة تتناسب مع التطورات التي حصلت في مجال الاشعاع وكيفية الوقاية منه بالإضافة الى استخدامه في الاغراض السلمية وغير السلمية، ومن هذه الوحدات الشكل(2-1) والذي يوضح العلاقة بين وحدات الجرع الاشعاعية في النظام الدولي والذي هو مبين في الجدول الاتي SI.

الجدول(1):العلاقة بين وحدات الجرع الاشعاعية في النظام الدوليSI [23]

التحويلات	وحدات النظام الدوليSI	وحدات سابقة
$\mathbf{1Ci=3.7\times10^{10}\ 1dis/s}$ $\mathbf{1Ci=3.7\times10^{10}\ Bq}$	Becquerel(1Bq=1dis/s)	Curie(Ci)
$\mathbf{1R=2.58\times10^{-4}\ C/Kg}$	Coulomb/Kilogram (C/Kg)	Roentgen
$\mathbf{1rad=100erg/g}$ $\mathbf{= 10^{-2}\ \ j/kg}$ $\mathbf{= 10^{-2}Gy}$	Gray(Gy=J/Kg)	Rad
$\mathbf{1rem=10^{-2}\ sv}$	Sievert(sv)	Rem