محاضرات فى الفيزياء الحيوية و الاشعاعية

الفرقة الثانية
أحياء تربية عام

إعداد

أ.د./ شعبان رمضان محمد حرب

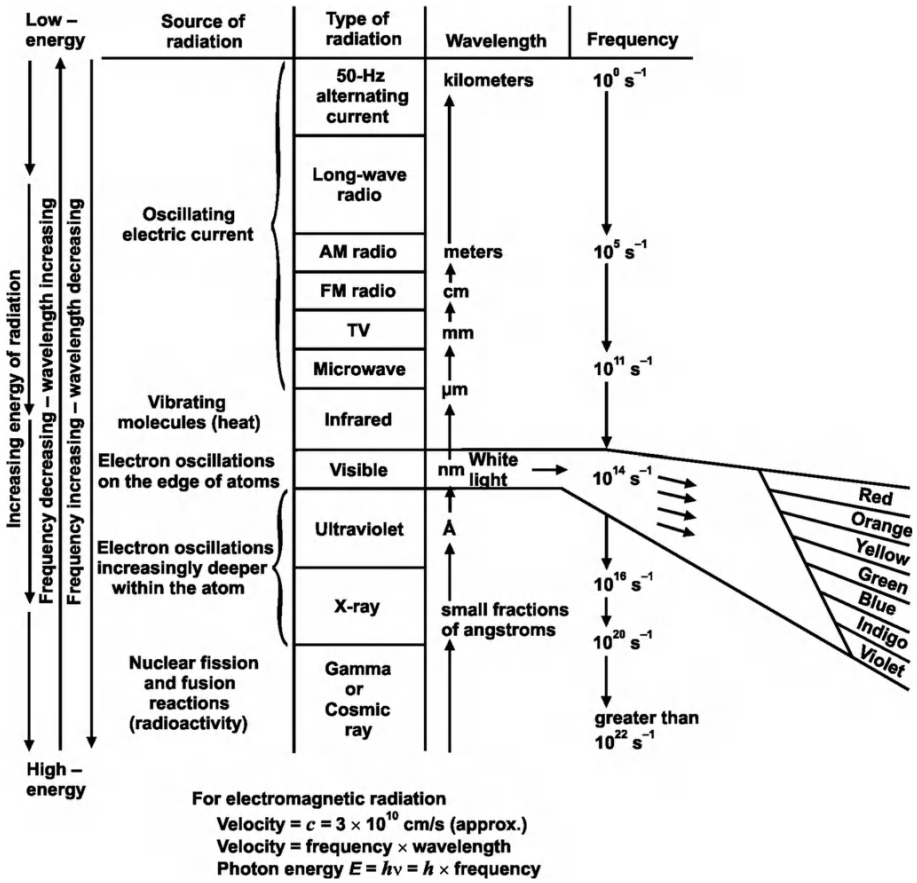
أستاذ الفيزياء الاشعاعية

2023-2022

المحاضرة الاولى

مدخل إلي فيزياء الإشعاع

توجد عدة أنواع من الإشعاع من ضمنها الإشعاع الحراري والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية موجات الراديو وهي علي شكل حزم غير متصلة من الطاقة تدعي الفوتونات . ان معظم هذه الإشعاعات تنتج عن اهتزاز الالكترونات في المادة وتكون مختلفة في



طاقاتها شكل (1-1).

شكل1- 1 الطيف الكهرومغناطيسى موضحا فيه الطول الموجى لاشعة جاما

إن الإشعاعات المؤينه وهي تشمل الأشعة السينيه وأشعة جاما وجسيمات ألفا وجسيمات بيتا والنيوترونات .

يستعمل مصطلح النشاط الإشعاعي لوصف التحولات الذرية الذاتية الخاصة بإطلاق الطاقة والتي تتضمن تغيرا في نواة الذره . إن الطاقة المحررة تنبعث علي شكل إشعاع كهرومغناطيسي أو إشعاع جسيمي وتسمى النوى التي تضمحل بصوره ذاتيه النويدات المشعة التي يمكن أن تنحل بطرق متتعدده وتحدد نسبة عدد النيوترونات إلي عدد البروتونات حالة استقرار النوى وتحاول النوى غير المستقرة الوصول إلي حالة الاستقرار عن طريق تغيير طاقتها أو نسبة عدد النيوترونات إلي عدد البروتونات .

1التركيب الذري (Atomic structure)

الذرة هي اصغر وحدة معروفة للعنصر يمكن أن تبقى وتحتفظ بكل الخواص الكيميائية و الفيزيائية للعنصر. فالعنصر هو المادة التي لا يمكن فصلها إلى مواد أخرى (ماعدا الجسيمات الابتدائية)

1.1الذره (Atom)

إن جميع المواد مؤلفه من ذرات وتؤلف الذرة اصغر وحدة ذات مواصفات يمكن تمييزها من العناصر الكيمائية وهي تتألف من نواة كثيفة ذات شحنة موجبة تتركز فيها معظم كتلة الذرة وتكون محاطة بالكترونات مدارية ذات شحنة سالبة. إن نصف قطر الذرة الكلي في حدود $1X10^{-8}$ cm بينما يبلغ نصف قطر نواتها نحو $1X10^{-12}$ cm وجميع الالكترونات تحمل نفس الشحنة الكهربائية التي يكون مقدارها نحو $1.602X10^{-19}$ coulomb ويكون لها نفس الكتلة البالغة $9.11X10^{-28}$ g

ان الذرة لا تشكل جسيمة صلبة من الماده بل مجموعه من الجسيمات المرتبطة بواسطة القوه الكهرومغناطيسية المتوازنة ويمكن حساب او تقدير او مقارنة كتلة الذرة بالطرائق الكيميائية لعلاقتها بكتلة ذرة الكربون التي لها العدد 12

ان الجرام ذرة الذى يرمز له بالحرف (A) هوكتلة العنصر بالجرامات و الذي يساوي كتلته الذرية . ومقدار الشحنة الكهربائية اللازمة لتحرير جرام ذري واحد من أية مادة ذات شحنة مفردة يساوي وحدة فرادى التي تساوي 96487 كولومب (c) وكتلة الذرة المفردة (M) تساوي

$$M = \frac{A}{FLe} = \frac{eA}{F}$$

حيث ان وحدة فرادي = F

شحنة الالكترون = e

$M = 1.66X10^{-24}$ A g

و يعرف الثابت في هذه المعادلة بوحدة كتلة النواة وهو ما يعرف بعدد افوجادور ويرمز له No الذي تكون قيمته

$$No\frac{A}{M} = 6.02217 \times 10^{23}$$

1.2النواه (nucleus)

وهي قلب الذرة وتكون صغيرة وتتركز الكتلة فيها ولها شحنة كهربائية موجبة . ان نواة الذرة مكونة من جسيمات تسمى النيوكلونات (nucleons) وهناك نوعان منها لها كتل متساوية تقريبا وهما النيوترونات التي تكون متعادلة الشحنة والبروتونات التي تكون شحنتها موجبة وهناك عدد من المصطلحات المتعلقة بعدد البروتونات وعدد النيوترونات التي في النواة منها.

1.3العدد الذري (Atomic number)

ويرمز له بالحرف Z وهو عبارة عن عدد البروتونات التي في النواة ويمثل كذلك عدد الالكترونات التي في المدارات الخارجية في الذرة المتعادلة.

1.4العدد الكتلي (Mass number)

ويرمز له بالحرف A وهو يساوي الكتلة الذرية كلها تقريبا حيث يساوي عدد البروتونات التي في النواة وعدد النيوترونات الموجودة في النواة كذلك .

1.5العدد النظائري (lostopic number)

ويرمز له بالحرف I وهو يمثل عدد النيوترونات التي في النواه

1.6النويده (nuclide)

وهي النواة المحتوية على عدد معين من البروتونات والنيوترونات وتكتب على هيئة ${}^{A}_{Z}X$ حيث X الرمز الكيمائي للعنصرو مثال على ذلك الكربون 14- يكتب ${}^{14}_{6}C$ وبما ان العدد الذري للعنصر يعرف عادة من رمزه الكيماوي فانه غالبا ما يحذف وبهذا فان النويده تكتب ${}^{14}C$ فقط ومن الممكن ملاحظة عدة انواع من النويدات مثل النظائر (Isotopes) وهي النويدات التي يكون لها نفس العدد الذري ولكن لها اعداد كتليه مختلفه و (Isobar) وهي النويدات التي يكون عددها الذري مختلفا ولكن عددها الكتلي يكون متساوياً (isomers) وهي النويدات التي يكون لها نفس العدد الذري ونفس العدد الكتلي . وهنالك نويدات يكون عدد النيوترونات فيها متساوياً ولكن عددها الكتلي مختلف وتدعى (Isotone) وتساوي وحدة كتلة ذرية واحده ويرمز لها a.m.u واحداً من اثني عشر من كتلة ذرة الكربون-12 (${}^{12}C$) الذي يعرف بانه له كتلة ذرية تساوي 12 بصوره مضبوطة ، وتلبغ قيمة وحدة كتلة ذرية واحدة $1.66\times10^{-27}\,\mathrm{Kg}$

1.7النيوترونات Neutrons

تبلغ كتلة النيوترون 1.00867 a.m.u وهو من مكونات نوى الذرات والعلاقه بين الكتله والطاقة موضحة بالنظرية النسبية

$$E = mc^2$$

حيث يرمزالحرف E الي الطاقة والحرف C الى سرعة الضوء . وتساوي وحدة كتلة ذرية واحدة (1 a.u.m)

$$1 \quad a.m.u = 1.9929 \times 10^{-1} J = 931.481 \quad MeV$$

حيث يرمز الحرف J الي الجول و Mev الـي مليـون الكتـرون فولـت وهنالـك عـدد مـن المصطلحات التي تستعمل لوصـف النيوترونـات حسـب طاقاتهـا . وتتـراوح حـدود طاقـة النيوترون التي تهم الفيزياوي الصحي بين حيث يرمز kev الي كيلو الكترون فولت

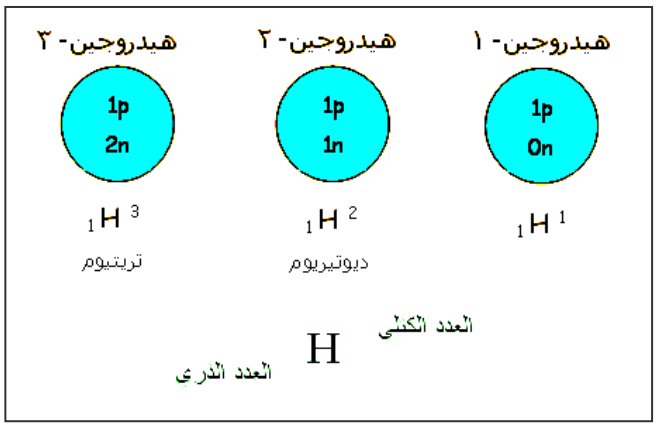
1.8 البروتونات (protons)

وهي جسيمات لها شحنة كهربائية موجبـة واحـدة وتكـون مسـتقرة فـي نـواة الـذرة وربمـا يكون هنالك بروتون واحد او اكثر في النواة ان كتلة البروتون تبلـغ 1.00728 a.m.u وان عدد البروتونات التي في النواة يمثل العدد الـذ ري للعنصـر الـذي يحـدده موقعـه فـي الجـدول الـد وري والـذي يحـدد هويتـه كـذلك . وهـذه المكونـات تحـدث بصـورة طبيعيـة كمكونات وحيدة لنواة ذرة الهيدوجين وانه يمكن ايجادها باعداد اكبـر فـي نـوى العناصـر الاخرى وللبروتون كتلة مقدارها 1835 مرة كتلة الالكترون وان لها طاقة اقل من بضعة مليـون الكتـرون فولـت وهـي تسـير بسـرعة اقـل مـن سـرعة الالكترونـات ذات الطاقـات المقاربة . ان البروتونـات لا تنبعـث نتيجـة الانحـلال الاشـعاعي لنـوى العناصـر.كمـا ان ازدياد طاقة الارتباط يؤدي ال ازدياد استقرار النواة لان هذه الطاقه يجـب ان تجهـز الـي النواة قبل ان تتمكن من التجزئة.

1.9الالكترونات

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية سالبة عادة . وتبلغ كتلة الالكترون 1/1850من كتله البروتون وهي تدور في مدارات حول النواة ويكـون عـدد الالكترونـات مسـاو لعـدد البروتونات التي في النـواة فـي الـذرات المتعادلـة . ان الالكترونـات التـي حـول النـواة لا تتحرك بمدار واحد ولكن اعتمادا علـي عـددها فـان مجـاميع معينـة تتحـرك فـي مـدارات مختلفة حول النواة و يدعى كل واحد من هذه المدارات القشره الالكترونيه .

ان الالكترونات تدور بسرعه منتظمه جداً ولولا قوة الجذب المسلطه عليها من قبل كتلة النواه الاثقل وخاصية التجاذب بين الشحنات المختلفه للالكترونات والبروتونات التي في النواه لانطلقت في الفضاء وتستطيع الالكترونات المداريه ان تتحرك فقط بمدارات تعرف بواسطة عدد كمي اساسي ويرمز له بالحرف n الذي يمكن ان ياخذ قيمه تبدأ من الواحد فصاعدا دون كسور وتدعي مدارات الالكترونات k,L,M,N,O,P,Q, وهكذا مماثله لاعداد الكم 1,2,3,4 واذا ما حدث ان قفز الكترون من مدار الي الاخر فإنه يتم اطلاق طاقه من قبل الذره او امتصاص طاقه من قبل الذره علي هيئه اشعه كهرومغناطيسيه وابسط تركيب ذري هوالهيدروجين شكل (2-1).



شكل (2-1) نظائر الهيدروجين.

حيث تحتوي النواه على بروتون واحد ويحيط بالنواة مدار الكتروني فيه الكترون واحد وان الذره التي تقع في المرتبة الثانيه من حيث البساطة هي ذرة الهيليوم التى يكون فيها بروتونان ونيوترونان مكونة لنواتها مما يعطيها كتلة تساوي اربعة والكترونين في القشره والنواه التي تقع في المرتبة الثالثه من حيث البساطه هي الليثيوم التي تحتوي نواتها علي ثلاثة بروتونات وعلي اربعة نيوترونات خيث تساوي كتلتها سبعة ويكون لها ثلاثة الكترونات لمعادلة شحتة البوتونات اثنان منها في المدار الاقرب الي النواه والثالث في المدار الخارجي ان الذرات الاكثر تعقيدا لها اعداد متزايده من البروتونات والنيوترونات في النواه مع الزياده المرافقه للالكترونات التي في المدارات المحيطه وتعرف العناصر الكيمائيه بعدد البروتونات التي في النواه مع الزياده المرافقه للالكترونات ويؤدي التفاعل بين لالكترونات للعناصر الي بناء المركبات الكيمائيه.

1.10انبعاث الاشعاع من النويدات المشعه

تنحل نوي الذرات غير المستقره في العاده ذاتيا وان هذا الانحلال ينتج عنه اشعاع. ان فعاليات الانحلال ومعدل انبعاث الاشعاع لا يمكن ان يغير او يمنع ولا يتوقف الانبعاث الاشعاعي الى ان يتم انحلال جميع نوى الذرات, ان الانحلال النووي يولد اشعاعا يتكون من جسيمات الفا وبيتا واشعة جاما والنيوترونات

2جسيمات الفا

وهي نواة ذرة الهيليوم المشحونه الطاقه المتكونه من نيوترونين وبروتونين وبهذا فأن عددها الكتلي يبلغ 4 وهي تحمل وحدتين من الشحنات الموجبة ويبلغ عددها الذري 2 ويبلغ ثقل جسيمة الفا حوالي 7300 مرة اثقل من الالكترون ويتم اطلاق هذه الجسيمات نتيجة الانحلال الاشعاعي للنويدات المشعة التي تكون قيمة عددها الكتلي اكثرمن 208 اي اثقل النويدات التي في الجدول الدوري . بالاضافة الى نوى قليلة اخرى اخف من ذلك ومن امثلة مطلقات جسيمات الفا الموجودة بصورة طبيعية اليورانيوم والثوريوم والراديوم والبولونيوم . وهنالك بعض النويدات المشعة الاصطناعية التي تطلق جسيمات الفا مثل البلوتونيوم والامريسيوم .

ان النواة المتولدة الناتجة يكون لها عدد كتلي اقل باربعه وعدد ذري (Z) اقل بإثنين من النواة الاصل . لقد لوحظ انه من انحلال الفا لنواه معينه يكون لجسيمات الفا المنبعثة واحد أو اكثر من الطاقات الخاصة تتراوح بين 4-9 MeV ان جميع الطاقات تبتدىء من نفس الحالة الارضية للنويدات الاصلية وهذا ربما يدل على النويات البنات (daughters) ربما تركت في حالة تنشيط , ان اسرع هذه الطاقات تكون ($1.4x10^9$و$2.1x10^9$) سم / ثانية على التوالي اي انها اقل من اسرع دقائق بيتا في نفس المجال من الطاقة التي تقارب سرعة الضوء .

ان دراسة طاقات جسيمات الفا يدل على وجود مدارات طاقة في النوى مناظرة لمدارات الكترونات الذرات , وبسبب سرعة جسيمات الفا البطيئة فانها تقضي وقتا اكثر قرب الذرات التي تجتازها وهي تؤثر بنبضات اكبر كثيرا في الالكترونات المدارية , ان هذه النبضات تزداد اكثر لان شحنتها والقوى الكهربائية التي تؤثر فيها تبلغ ضعف تلك

الناتجة عن الالكترونات ونتيجة لسرعة ادخال جسيمات الفا للطاقة الي الوسط على طول مدارها فان الطاقة الداخلة تكون اكثر كثيرا مما تفعله دقائق بيتا .

ان مدى جسيمات الفا المنبعثة من العناصر الثقيلة يكون بضعة سنتمترات في الهواء او بضعة ملجرامات للسنتمتر ألمربع في المواد الصلبة , ويصاحب انبعاث جسيمات الفا في بعض الاحيان انبعاث اشعة جاما حيث تنبعث خلال فترة قصيوة جداً (10^{-12}) ثانية من انبعاث الفا ولكن في بعض الحالات فان النويده البنت تستطيع ان تبقي منشطه لفترات زمنيه طويله جداً تبلغ عدة سنوات وتدعي في هذه الحاله متماثلات (Isomers) وعندما يتم اطلاق الطاقه اخيراً علي شكل اشعه جاما فإن هذه العمليه تدعي التحول التماثلي.

3جسيمات بيتا

وهي ألكترونات ذات شحنة سالبة سريعة الحركة او الكترونات موجبة يجري اطلاقها من النواة . ان سرعتها تبلغ160الف ميل في الثانية اي نحو 8 مرات اسرع من جسيمات الفا اذا اعتبرنا ان الفا وبيتا لهما نفس الطاقة , وبسبب ان جسيمات بيتا الكترونات لها كتلة صغيرة جدا فهي تستطيع قطع مسافات اعظم من المسافات المقطوعة من قبل جسيمات الفا قبل ان يتم امتصاص طاقتها ولكنها تتشتت بصورة واسعة بمسار متعرج خلال وسط الامتصاص, ان الشحنة الموجبة او السالبة تنتج تاينا خاصاً حيث ينخفض بصورة اسية مع المسافة . ان مدى جسيمات بيتا يعتمد على الطاقة إلابتدائية وعلى كثافة الالكترونات في المادة الممتصة.

ان جسيمات بيتا تكون واحدة من الانوع المهمة من الجسيمات المؤينة بصوره مباشرة , ان هذه الجسيمات يتم اطلاقها من نوى الذرات نتيجة الطاقة المتحرره من فعاليات الانحلال الاشعاعي المستلمة عند تحول النيوترون الى بروتون والكترون ومن الناحية النظرية فإنه من المستحيل ان تتواجد جسيمات بيتا في النواة ولهذا فقا اقترح انها تخلق في لحظة الانحلال بواسطة تحويل النيوترون الي بروتون والكترون ذو شحنة سالبة او بواسطة تحويل البروتون الي نيوترون والكترون ذو شحنة موجبه الذي يدعي كذلك بوزيترون.

ان قيمة طاقة بيتا يمكن ان تكون اي قيمة لغاية الطاقة آلقصوى التي تتوفر نتيجة الانحلال , ان فرق الطاقة بين هذه القيمة القصوى وبين الطاقة الحقيقية لجسيمة بيتا يجري حملها بواسطة جسيمة اخرى تعرف بالنيوترينو . وفي الواقع فان هنالك نوعان من النيوترينو الاول هو النيوترونو (ν) والاخر هو مضاد النيوترونو($\bar{\nu}$)

ان التفاعلين اللذين يحدثان في النواه هما تفاعل

$$n \rightarrow p + \beta^- + \nu^-$$

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu$$

ان التفاعل الذي يتم بواسطته تحويل البروتون الى نيوترون وبوزترون يجدث في النواة فقط ولكن النيوترون يتمكن من الانحلال الى بروتنون مع اطلاق الكترون خارج النواة وفي الحقيقة انها لا تشارك في اي تفاعل اخر بل تنحل ويكون عمر النصف لها نحو 13 ثانيه وتطلق الكترونا ذا طاقه قصوى مقدارها 0.78 mev ان النويده التى تنحل بواسطه اطلاق جسيمه بيتا سوف تشحن عددها الذري Z

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+1) + \beta^-$$

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + \beta^+$$

ان طيف انبعاث البوزترون يختلف عن طيف انبعاث الالكترون وذلك لتأثير الشحنة على النواة الباقية ان الالكترونات ذات الطاقات والسرع المقاربة لتلك التي في جسيمات بيتا تستعمل بصورة واسعة في الصناعة .

ان الالكترونات يجري شحنها بالطاقة في مكائن خاصة بواسطة اعطاء فولتية موجبة عالية بين مصدر الالكترونات وبين محطة التجميع ان احد الاستعمالات الواسعة للالكترونات ذات السرع العالية هو في انابيب التليفزيون , اما بالنسبة الى مولدات الاشعة السينية (x-ray) فانه يجري شحن الالكترونات بالطاقة باستعمال فولتية اعلى كثيرا حين يتطلب طاقة 11500-70000 eV في مولدات الاشعة السينية لاغراض الفحص الطبي وعدة ملايين من الالكترون فولت في بعض اجهزة العلاج بالاشعة السينية ان

الالكترونات ذات السرعة العالية المنبعثة من النويدات المشعة لها طاقات تتراوح بين بضعة الاف الكترون فولت الي اكثر قليلا من مليوني الكترون فولت وهي تكون كافية لتتبع وجود النوى التي تطلق .هذه الاشعة .وتطلق جسيمات بيتا بسرع عالية جداً مقاربة الى سرعة الضوء ولهذا عند حساب تفاعلها مع المادة يجب استعمال معادلات نسبية ومدى جسيمات بيتا اكبر كثيرا من مدى جسيمات الفا حيث يبلغ عدة امتار في الهواء وبضعة غرامات بالسنتمتر المربع (gcm^{-2}) في المواد الصلبة وبعد ان يتم اطلاق جسيمة بيتا ربما تبقى النويدة الاصلية في حالة متهيجة وبهذا يتم اطلاق اشعة جاما في انحلال بيتا وعندما يتم اطلاق بوزترون فانه سوف يبطىء حالا ويتحد مع الكترون .ان زوج الالكترون - البوزترون يتم اندماجه وان الكتلة المستقرة للجسيمتين تظهر على شكل كميات .

والالكترون الموجب عندما لا يكون مع الالكترون فانه يكوذ مستقراً ومع هذا فان البوزترون يتحد في النهاية مع الالكترون في تفاعل ينتج عنه فناء كليهما وينتج عنه اثنان من اشعاع الفناء لكل منهما طاقه 0.511 MeV ان الالكترون والبوزترون تدعيان جسيمات مضادة ولكل واحد من هذه الجسيمات الابتدائية في الطبيعة جسيمة مضادة مساوية في الكتلة ولكن معاكسه في الشحنة وبعض الصفات الداخلية الاخرى . ان تلاقي الجسيمة المضادة ينتج عنه تحطم كامل لمادتيهما وتحولها الى طاقة فوتونات وبالرغم من ان الجسيمة المضادة (البوزترون) لا توجد اعتياديا على الارض الا انها تخلق بفعل بعض الانحلالات اليووية بالاضافة الى التفاعلات الخاصة بالاشعاعات ذات الطاقات العالية

3.1مدى دقائق بيتا

ان السمك الاقصي الذي تقوم جسيمات بيتا باختراقا يدعى المدى ويمثل 2.1J بعض مدى جسيمات بيتا, ان االمدى يحدد لوسط عام له وحدة الكثافة لان اختراق جسيمة بيتا يعتمد بالدرجة الاولى على كتلة المادة التي تقطعها وانه لا يعتمد بصورة كبيرة على الخواص الذرية الاخرى مثل العدد الذري.

ان مدي جسيمات بيتا يعتمد بصورة كبيرة على الطاقة القصوى وغالبا ما يعبرعن المدي بسمك الكثافة الذي يعرف بانه الكتلة لوحدة المساحة المتمثلة بنموذج ذي كثافة

معينــة . ان الوحــدات تعطــي عــادة بالملجرامــات مقســومة علــى مربــع الســنتمترات (mg/cm^2) ولوسط ذي كثافة (mg/cm^2) فان المدي المعطي بوحدة mg/cm^2 هو ~ 1000 e بالمدي بالسنتمترات اقصى انتقال للطاقة عندما ترتطم النيوترونات مع نوى ذرات الهيدوجين (البروتونات) التي يكون لها نفس الكتلة تقريبا.أشعة جاما

اشعة جاما هي اشعة كهرومغناطيسية وبذلك تشبه الموجات الضوئية ماعدا ان طول موجتها اقل كثيرا من الطول الموجي للضوء الشكل (1-1) وتنبعث اشعة جاما من النوى المشعة على شكل حزمات من الطاقة تدعى الفوتونات وعادة يصاحب اطلاق جسيمات بيتا من نفس المستوى وتكون لها طاقات من نفس المجال .

ان اشعة جاما تبلغ عدة الاف من الالكترون فولت الي بضعة ملايين لكنها مخالفه لجسيمات بيتا التي تبطئ عند فقدها الطاقه وينتهي الامر بارتباطهما بالذره بينما تسير اشعة جاما بكافة طاقتها بسرعة الضوء , ان اشعة جاما تفقد الطاقه خلال الالتقاء التصادفي الذي ينتج عنه قذف الالكترونات من النواه وهي قد تفقد جميع طاقتها او جزءاً منها خلال الالتقاء واذا ما تم فقد جزء من الطاقه فان الباقي يستمر بالسير خلال الفضاء بسرعة الضوء بصفة فوتونات ذات طاقه اقل وكلما زادت طاقة فوتونات جاما زادت طاقة الالكترونات المتحرره والالكترونات التي يتم انتقال الطاقة لها من قبل فوتونات جاما تولد التلف في الوسط (بواسطة تايين وتهييج الذرات) ومتى ما تحرر الالكترون بواسطة الفوتون فان الحدث الذي يلي ذلك يعتمد فقط على خواص الالكترون وليس على فوتون جاما الذي يحرره كما ان قذف الالكترون المشحون الطاقة بواسطة الفوتون الذي له طاقة مقدارها 1meV مثلا من النواة يعتبر تأين مفرد فقط.

ان الالكترونات عند تباطئها تولد عشرات الالوف من التاينات والتهيجات وان التلف الناتج سوف يعتمد علي عدد ونمط التوزيع الفضائي لهذه التاينات والتهيجات بدلا من التاين المفرد الناتج من فوتون جاما , هنالك النوع الاخر من الاشعاع الكهرومغناطيسي الذي يكون مشابها في خواصاً كثيره لاشعة جاما والذي يطلق عليه الاشعه السينيه والاختلاف الاساسي بينهما يتعلق بمنشئهما وبينما تنتج اشعة جاما من التغيرات الحاصله في النواه فان الاشعه السينيه تنبعث عندما يحدث تغيير في مدار الالكترونات الذريه.

4 النشاط الإشعاع Radioactivity

والنشاط الإشعاعى عبارة عن اضمحلال تلقائى لنواة النظير مع إصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا قد تتبعها إشعاعات جاما . وتعرف النظائر التي يحدث فيها هذا التفكيك بالنظائر المشعة . وتجدر الإشارة إلى ان عملية التفكك تحدث فى النظائر سواء كانت فى صورة نقية أم تدخل ضمن مركبات كيميائيه . كما أن عملية التفكك لا تعتمد إطلاقاً على الظروف الطبيعية مثل الحراره وحالة النظير.

4.1انحلال الفا α -decay

تتميز أنوية العناصر الثقيلة (الأثقل من الرصاص) بانخفاض قيمة طاقة الترابط لكل نيوكلون فى النواه . لذلك فان هذه الأنويه غيرمستقره ، وتتفكك الى انويه اخف وأكثر استقراراً . فعلي سبيل المثال نجد ان نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ التي تتكون من 92بروتونا ،146 نيوترونا تتفكك الي نواة الثوريوم $^{234}_{90}Th$ المكونة من 90 بروتونا ، 144 نيوتوونا وينبعث نتيجة هذا التفكك جسيم ألفا α الذي هو عبارة عن نواة الهيليوم والمكون من بروتونين ونيوترونين . وتمثل عملية التفكك هذه بالمعادلة التالية:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He \qquad (\alpha)$$

وهكذا يتكون نتيجة تفكك نواة اليورانيوم نواة جديدة أكثر استقرارا هي نواة الثوريوم مع إصدار جسيم ألفا . كذلك نجد أن نواة البولونيوم $^{218}_{84}Po$ تتفكك الى نواة الرصاص $^{214}_{82}Pb$ مع اصدار جسيم ألفا أي أن:

$$^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb$$ (وهذه طريقه اخرى لكتابة معادلة التفكك)

ولكي تكون النواة مشعة لجسيم ألفا يجب ان تكون كتلتها اكبرمن مجموع كتلتي النواة الوليدة وجسيم الفا (يطلق اسم النواة الأم علي النواة المشعة) . اي يجب ان يتحقق الشرط.

$$M_p - (M_d + M_\alpha) > 0$$

حيث M_p كتلة النواة الأم (perant) و M_d كتلة النواة الوليدة (daughter) و M_α كتلة جسيم ألفا . ولا يتحقق هذا الشرط الا لأنوية بعض العناصر الأثقل من الرصاص .أما أنوية العناصر الأخف فانها تكون مستقرة بالنسبة لإصدار جسيمات ألفا.

وتجدر الإشاره إلى أن طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نظير معين تتخذ قيمة واحدة ، ولكن اذا تكونت النواة الوليده في حالات مختلفة من الإثارة فعندئذ تكون طاقات جسيمات ألفا مختلفة ولكنها ذات قيم محددة . فمثلا نجد ان طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نظير البولونيوم 210 تتخذ قيمة واحدة هي 5.305 ميجا إلكترون فولت , أما جسيمات ألفا الصادرة عن اليورانيوم 238 فتتخذ قيمتين هما 4.196 ميجا إلكترون فولت 4 .149 ميجا الكترون فولت . والسبب في ذلك أن نواة الثوريوم 234 الوليدة قد تتكون في الحالة الأرضية فتتخذ جسيمات ألفا القيمة الكبرى للطاقة وقد تتكون هذه النواة الوليدة في حالة مثارة فتتخذ جسيمات ألفا القيمة الصغرى للطاقة , ويمكن حساب طاقة جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين وذلك باستخدام علاقة آينشتين لتكافؤ الكتلة والطاقة حيث إن الطاقة الناتجة عن التفكك هي

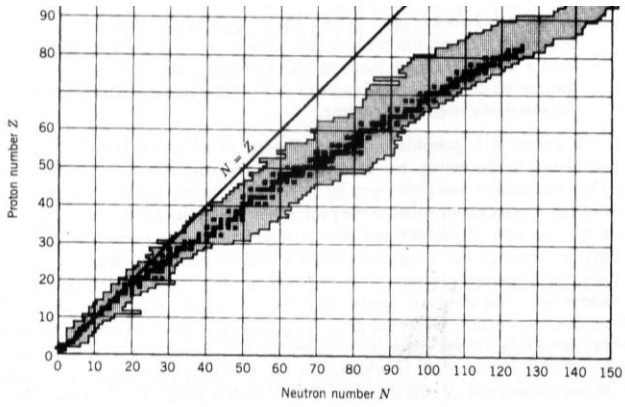
$$E_p = \{(M_p - (M_d + M_\alpha)\}C^2$$

وتتوزع هذه الطاقه بين جسيم الفا والنواة الوليده بنسب معاكسه لكتلتها وذلك طبقا لقانون بقاء الطاقة ، اي ان جسيم الفا يحمل الجزء ، الاكبر من الطاقه الناتجه عن التفكك فى حين تحمل النواه الوليده جزءا صغيرا جدا من هذه الطاقه.

4.2انحلال بيتا Beta decay

تصدر نويات بعض النظائر جسيمات اخرى تعرف باسم جسيمات بيتا (β) وهذه الجسيمات عبارة عن الكترونات او بوزيترونات , والبوزيترون عبارة عن جسيم كتلته مساوية لكتلة الإلكترون ولكن شحنته موجبة , ويحدث هذا النوع من التفكك للانوية (المعروف باسم تفكك بيتا) في كثير من النظائر سواء كانت ثقيلة ام خفيفة.

فمن المعروف أنه لكى يكون النظير مستقرا بالنسبة لإصدار جسيمات بيتا يجب أن تكون النسبة بين عدد النيوترونات والبروتونات (أى $\frac{N}{Z}$) لهذا النظير نسبة معينة تتراوح بين 1 بالنسبة للنظائر الخفيفة وتزداد حتى تصل إلى حوالي 1.6 بالنسبة شكل2-1. منحنى



الاستقرار بالنسبة لانحلال بيتا

للنظائر الثقيلة . فمثلا يلاحظ أن نواة نظير الكربون $^{12}_{6}C$ مستقرة حيث إن نسبة النيوترونات الي البروتونات فيها هي $\frac{N}{Z} = \frac{6}{6} = 1$ وتعتبر هذه النواه من النوى الخفيفة . أما نواة نظير الكربون- 14, ($^{14}_{6}C$) فهى نواة غير مستقرة حيث إن هذه النسبة تصبح $\frac{N}{Z} = \frac{8}{6} = 1.33$ كذلك يلاحظ أن نواة نظير السيزيوم-133 $^{133}_{55}Cs$ مستقرة لأن النسبة تكون 1.42 في حين أن نواة نظير السيزيوم - $^{137}_{55}Cs$ 137غير مستقرة لأن النسبة تصبح1.49 ويوضح شكل (2-1) منحنى الاستقرار بالنسبة لتفكك بيتا , وهذا المنحنى عبارة عن العلاقة بين عدد النيوترونات N وعدد البروتونات Z للنظائر

المستقرة , فإذا كانت النسبة بين عدد البروتونات والنيوترونات للنظير المعين واقعة على منحنى الاستقرار كان النظير مستقرا بالنسبة لتفكك بيتا. وأما إذا خرجت هذه النسبة عن المنحنى فإن النظير يكون نشطا بالنسبة لهذا التفكك.

كذلك يمكن أن يكون النظير المعين مستقرا بالنسبة لتفكك ألفا ولكنه غير مستقر بالنسبة لتفكك بيتا والعكس صحيح . فمثلا تعتبر نواة اليورانيوم-238 مستقره بالنسبه لتفكك بيتا (أي لا تصدر جسيم بيتا) ولكنها غير مستقرة بالنسبه لتفكك ألفا (أي تصدر جسيم α) . ونتيجة لإصدارها جسيم α تتكون نواة جديدة هي الثوريوم -234. وعند حساب النسبة $\frac{N}{Z}$ لليورانيوم 238 نجدها $\frac{N}{Z} = \frac{144}{90} = 1.6$ أى أن نسبة النيوترونات إلى البروتونات خرجت عن منحنى الاستقرار, لذا نجد أن نواة الثوريوم تصبح غيرمستقرة بالنسبة لإصدار جسيم بيتا. ويعبرعن هذا التفكك كالتالى :

$$^{234}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Pa} + \beta^{-}$$

او بطريقه اخرى كالتالى:

$$^{234}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\beta^{-}} {}^{234}_{90}\mathrm{Pa}$$

اي أن نواة الثوريوم- 234 تفككت إلي نواة بروتاكتينيوم-234 مع إصدار إلكترون ويلاحظ أنه نتيجة لهذا التفكك زاد عدد البروتونات بمقدار بروتون واحد في حين قل عدد النيوترونات بمقدار نيوترون واحد فتصبح نسبة N/Z في البروتاكتينيوم هي1.571 وهى تحقق الاستقرار بالنسبة لإصدار بيتا.

4.3انواع تفكك بيتا

4.3.1التفكك الالكتروني

يلاحظ ان اصدار الكترون من النواة ناتج عن تحول نيوترون من نيوترونات النواة الى بروتون وذلك لكى تصبح النسبة بين النيوترونات والبروتونات هى نسبة الاستقرار ويعبر عن هذا التفكك كالاتي

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{P} + \beta^{-} $$

4.3.2التفكك البوزيتروني

وفي بعض الأحيان تكون نسبة النيوترونات الي البروتونات في النظير المعين أقل من النسبة التي تحقق الاستقرار, في هذه الحالة يتحول أحد بروتونات النواة الي نيوترون وينطلق نتيجة لذلك بوزيترون يحمل شحنة البروتون الموجبة , ويعرف تفكك بيتا في هذه الحالة بالتفكك البوزيترون ويعبر عنه كالآتي:

$$ {}^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + \beta^{+} $$

4.3.3الاسر الالكتروني

يمكن ان يحدث تحول احد بروتونات النواه الي نيوترون بطريقه اخري , ويتم ذلك بان تأسر النواه الكترونا من الالكترونات المدارية القريبه من النواه (أي من المدار K وفي احيان قليله من المدار L) ويتحد هذا الاكترون الماسور مع احد البروتونات فيتكون النيوترون ويعرف تفكك بيتا في هذه الحاله بالاسر الالكتروني ويعبر عنه كالاتي :

$$ {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{1}_{1}\mathrm{P} \longrightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} $$

وهكذا فانه يوجد ثلاثة انواع لتفكك بيتا هي التفكك الالكتروني وفي حالة الاسر الاكتروني لا تصدر لنواه ايا من جسيمات بيتا ولقد ثبت فيما بعد انه عند حدوث أي نـوع مـن تفكـك بيتا ينطلق من النواه جسيمات تعرف باسم النيوترينو –ν, والنيوترينو عبـاره عـن جسـيم متعادل الشحنه وكتلة السكون له مساويه للصفر (أي $m_\nu = 0$) وعلي هـذا اصـبح

$$_{0}^{1}\mathrm{n} \rightarrow {}_{1}^{1}\mathrm{P} + \beta^{-} + \tilde{\nu}$$

التعبير عن الانواع الثلاثه لتفكك بيتا كالاتي

ويعرف $\tilde{\nu}$ باسم النيوترينو المضاد وعموما يعرف الجسيم المضاد على انه هو الذي اذا تلاقـى مـع جسـيمه فانهمـا يفنيـان وينـتج عـن هـذا الفنـاء طاقـة فـي شـكل اشـعاعات

$$_{1}^{1}p \rightarrow {}_{0}^{1}n + \beta^{+} + \nu$$

كهرومغناطيسية (اشـعاعات جامـا أوأشـعة سـينية. ويمكـن معرفـة مـا اذا كـان النظيـر

$$_{-1}^{0}\mathrm{e} + {}_{1}^{1}\mathrm{p} \rightarrow {}_{0}^{1}\mathrm{n} + \nu$$

المعين مستقراً او غير مستقر بالنسبة لاي نوع من تفكك بيتا فاذا تحقق الشرط

$$_{Z}^{A}\mathrm{M} > (\,{}_{Z+1}^{A}\mathrm{M} + \mathrm{m_e})$$

حيث $_{Z}^{A}M$, $_{Z+1}^{A}M$, m_e هي كتل الالكترون والنـواه الوليـده و النـواة الام علي التوالي تكون النواه نشطه بالنسبة لاصدار الالكترونات واذا تحقق الشرط

$$(2) \qquad {}^{A}_{Z}M > ({}^{A}_{Z+1}M + m_e)$$

حيث ${}^{A}_{Z+1}M$ هي كتلة النواة الوليده في حالة التفكك البوزيتروني , تكون النواة نشطه بالنسبة لاصدار البوزيترونات واخيرا لكي تكون النواه نشطه بالنسبة للاسر الالكتروني يجب ان يتحقق الشرط

$$(m_e + M^{A}_{Z}) > {}^{A}_{Z+1}M \quad (3)$$

فاذا تحقق الشرط 2 نجد أن الشرط 3 قد تحقق هو الأخر. لذلك فان أي نواه نشطه بالنسبة لإصدار البوزيترونات تكون في الوقت نفسه نشطة بالنسبة لأسر الإلكتروني . لذلك فإن التفكك البوزيتروني يصاحبه دائما نسبة معينة من الأسر الإلكتروني والعكس غير صحيح . فإنه يمكن أن يتحقق الشرط 3 دون ان يتحقق الشرط 2 , عندئذ نجد أن النواة نشطة بالنسبة للأسر الإلكتروني ولكنها غير نشطه بالنسبة لإصدار البوزيترونات.

4.4طاقة جسيمات بيتا

ذكرنا أن طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نظير معين تتخذ قيمة واحدة او قيما محدده للطاقه . وأما بالنسبة لجسيمات β الصادرة عن أي نظيرفإن طاقتها يمكن ان تتخذ أي قيمة من الطاقه أعتبارا من الصفر وحتى قيمة قصوى معينة لكل نظير. ويرجع السبب في ذلك إلى أنه بالإضافة إلى جسيم بيتا الصادر عن النظير النشط يصدر جسيم آخر هو النيوترينو المضاد أو النيوترينو, فطاقة التفكك الناتجه تكون ثابتة ويمكن تحديدها بالعلاقة

$$E = \{{}^{A}_{Z}M - ({}^{A}_{Z+1}M + m_e)\}C^2$$

بالنسبة للتفكك الإلكتروني . وفي حالة التفكك البوزيتروني تكون الطاقة الناتجة عن التفكك هي

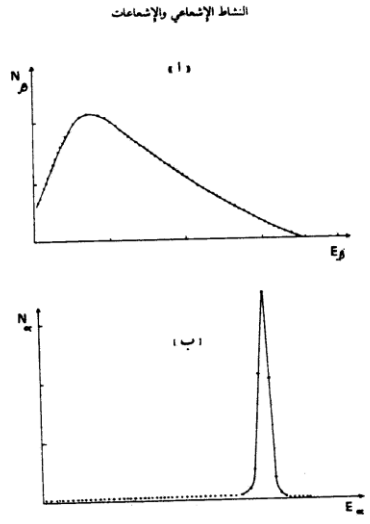
$$E = \{{}^{A}_{Z}M - ({}^{A}_{Z-1}M + m_e)\}C^2$$

وتتوزع طاقة التفكك في كلتا الحالتين بين الجسيمين الناتجين وهما الإلكترون والنيوترينو المضاد في حالة التفكك الإلكتروني ، وبين البوزيترون والنيوترينو فى حالة التفكك البوزيتروني . وفي حالة الاسر الإلكتروني تكون الطاقة الناتجة عن التفكك هي

$$E = \{{}^{A}_{Z}M - {}^{A}_{Z-1}M\}C^2$$

وتوزيع الطاقه بين الجسيمين غير محدد بنسبة معينة . فقد تكون طاقة النيوترينو المضاد قريبة جدا من الصفر.

وبذلك يحمل الإلكترون كل طاقة التفكك وتعرف طاقة الإلكترون عندئذ بالطاقة القصوى أو طاقة نقطة النهاية وقد يحمل انيوترينو المضاد جزءا ملموسا من طاقة التفكك فيحمل الإلكترون الجزء الباقي من الطاقة .



شكل (2-2) ا العلاقة بين عدد جسيمات بيتا وطاقتها, ب العلاقة بين عدد جسيمات الفا وطاقتها

كذلك قد يحمل النيوترينو المضاد طاقة التفكك كلها فتكون طاقة الإلكترون قريبة من الصفر. فعند قياس طاقة الإلكترونات الصادرة عن عدد كبير جدا من النويات النشطه ورسم العلاقة بين عدد الإلكترونات ذات الطاقة المعينة وبين طاقتها يمكن الحصول على منحنى شبيه بالمبين بالشكل (2- 2 أ) ويعرف هذا المنحنى باسم طيف اشعة بيتا وهو يوضح ان طاقة جسيمات بيتا الصادرة يمكن أن تتخذ أي قيمة ابتداء من الصفر وحتى أقصى قيمه وهي قيمة طاقة التفكك أو ما يعرف باسم نقطة النهاية . لذا فانه يقال ان طيف جسيمات بيتا عباره عن طيف مستمر على عكس طيف جسيمات ألفا الذي يتخذ قيمه او قيما محدده.

4.5اشعاعات جاما Gamma radiation

في اغلب الاحيان تكون الأنوية الوليدة الناتجة عن تفكك الفا أو تفكك بيتا أو الانوية الناتجه عن أي عملية نوويه كالتفاعلات النوويه مثلا في حالة مثارة ويعني هذا ان طاقة مكونات النواة تكون اعلي من طاقتها في الحالة الأرضية (المستقرة) أي أن كتلة النواة في الحالة المثارة تكون أعلي من كتلتها في الحالة الارضية ثم تتقل النواة من الحالة المثارة إلى حالة اقل اثارة او إلى الحالة الأرضية للتخلص من طاقة الإثارة وذلك بإصدار اشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات جاما , كما يمكن ان تتخلص النواة من طاقة الإثارة بتجميع هذه الطاقة الزائدة وتركيزها علي احد الإلكترونات المدارية (خاصة المدارK لقربه من النواة فينطلق هذا الإلكترون تاركا الذرة وحاملا معه قيمة محددة من الطاقة وتعرف هذه العملية باسم التحول الداخلي .

وتتميز الإلكترونات الصادرة عن التحول الداخلي بانها ذات طاقة محددة وذلك بخلاف الإلكترونات الناتجة عن تفكك بيتا التي يكون طيفها مستمرا كما هو بالشكل (2-2أ) وتجدر الإشارة الى أن ازالة الإثارة عن طريق إصدار اشعاعات كهرومغناطيسية (اشعاعات جاما) يمكن ان يحدث بانتقال النواة من الحالة المثارة مباشرة الي الحالة الأرضية . كذلك يمكن أن يحدث الانتقال على مراحل تنتقل النواة من الحالة المثارة الي حالة أقل اثارة ثم الى حالة أقل . . . وهكذا إل أن تصل النواة للحالة الأرضية. وعلى

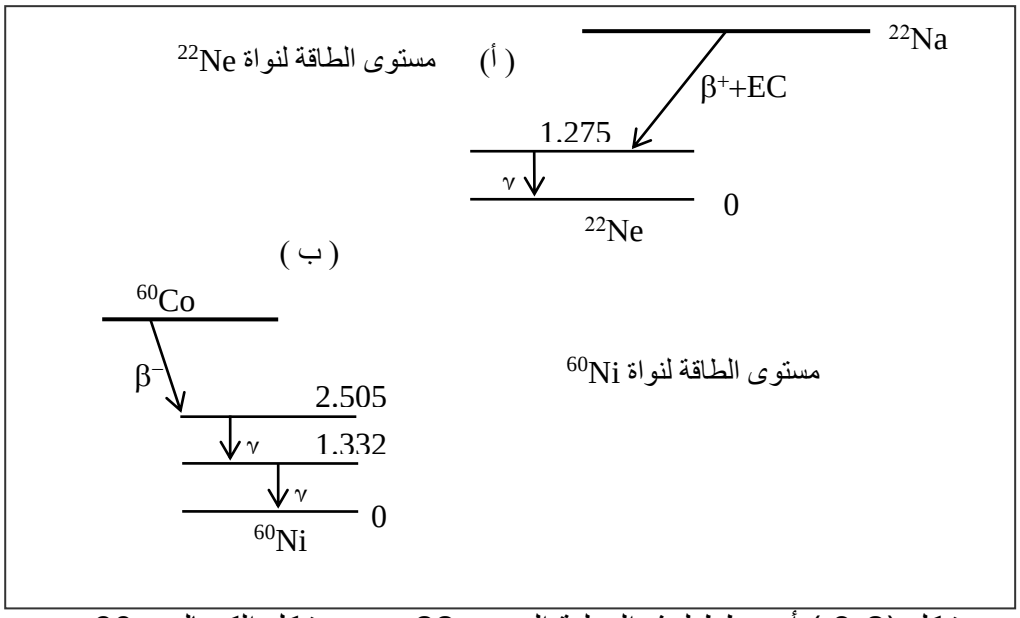
$$^{22}_{11}\mathrm{Na} \rightarrow ^{22}_{10}\mathrm{Na}^{*} + \beta^{+}$$

$$e^- + {}^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne^* + \beta^+$$

(والعلامة * معناها أن نواة النيون في حالة مثارة)

سبيل المثال فانه عند حدوث تفكك بيتا لنواة الصوديوم 22 سواء عن طريق التفكك البوزيتروني أو عن طريق الأسر الألكتروني تتكون نواة عنصر جديد هو النيون 22 ويكون النيون 22 في حالة مثارة بطاقة إثارة مقدارها 1.275 ميجا الكترون فولت . ثم ينتقل النيون 22 من الحالة المثاره الي الحالة الارضية مع اصدار اشعاع جاما طاقته مساويه لطاقة الإثارة و يبين شكل (2-3أ) مخطط لهذه العملية . ويشكل الكوبالت شكل (2-3ب) مثالا للتحول من الحالة المثارة الى الحالة الارضية على مراحل فعند اصدار نواة الكوبالت 60 للإلكترون نتحول الي نواة نيكل 60 أي

$$^{60}_{27}\mathrm{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni}^* + \beta^- + \tilde{\nu}$$



شكل (2-3) أ مخطط لهذه العملية النيون- 22 . ب ويشكل الكوبالت- 60

و تكون نواة النيكل فى الحالة المثاره الثانيه بطاقة اثاره مقدارها 2.505 ميجا الكترون فولت . فتنتقل نواة النيكل 60 من هذه الحالة الي الحالة المثاره الاولى بطاقة اقل وهي 1.332 ميجا الكترون فولت (أي تساوي فرق الطاقه بين الحالتين) ثم تنتقل نواة النيكل من الحالة المثارة الأولى إلى الحالة الارضية مع اصدار إشعاع جاما بطاقة مقدارها 1.173 ميجا إلكترون فولت وبصفة عامة تكون طاقة إشعاع جاما نتيجة انتقال النواة من حالة مثارة الى حالة أخرى أقل إثارة مساوية للفرق بين طاقتي الحالتين وتحدد بالعلاقة

$$\mathrm{E = E_i - E_f = h\nu}$$

حيث E_i ترمز لطاقة الحالة الابتدائية للنواة E_f ترمز لطاقة الحالة النهائية h هو ثابت بلانك ($6.63X10^{-34}$ جول . ثانية) ν تردد الإشعاع.

وهكذا نجد أن هناك العديد من النظائر التي لها نشاط اشعاعي طبيعي وتتفكك هذه النظائر مصدرة إما جسيمات ألفا أوبيتا أوكليهما معا وقد يتبع ذلك مباشرة أوخلال فترة زمنية معينة إشعاعات جاما الصادرة نتيجة انتقال النويات الوليدة من الحالات المثارة الي الحالات الأرضية.

4.6الأشعة السينية x-rays

تصدر الأشعة السينية عن الذرة بخلاف جسيمات ألفا وبيتا واشعاعات جاما التي تصدر عن النواة . ويجب التفريق بين نوعين مختلفين من الأشعة السينية يختلفان من حيث أسلوب توزع طاقة هذه الآشعة وهما

4.6.4الأشعة السينية المميزة للعنصر

يصدر هذا النوع من الأشعة السينية عند انتقال الإلكترونات الذرية من مدارات ذات طاقة أعلى الى مدارات ذات طاقة أقل في الذرة نفسها , فعند وجود فراغ الكتروني في مدار

ذي طاقة أقل ينتقل أحد الإلكترونات من مدار ذي طاقة أعلى ليشغل هذا الفراغ وينطلق في اللحظة نفسها فوتون أشعة سينية (موجة كهرومغناطيسيه حاملا فرق طاقتي الإلكترون في المدارين , ولما كانت قيم طاقات الإلكترونات في المدارات الذرية محددة وثابتة للعنصر الواحد ومختلفة من عنصر لآخر، فإنه تتخذ فوتونات الأشعة السينية المنطلقة نتيجة لانتقال الإلكترونات بين المدارات قيما محددة وثابتة للطاقة بالنسبة للعنصر الواحد وتختلف هذه القيم باختلاف العنصر, وهذا يعني أنه عند اثارة الإلكترونات في مدارات ذرات العنصر الواحد بأي أسلوب من أساليب الإثارة تصدر ذرات هذا العنصر (لحظة التخلص من الإثارة) فوتونات سينية ذات طاقات محددة ومعلومة ومميزة للعنصر، أي يتولد طيف متقطع من الأشعة السينية يميز العنصر عن غيره من العناصر. ويطلق على هذه الأشعة اسم الأشعة السينية المميزة للعنصر وتعد بصمة من بصماته وتستخدم عادة في عمليات التحليل الكمي والكيفي للعناصر.

4.6.5الأشعة السينية الانكباحية(تناقصية)

عند حدوث انكباح شديد (أي تناقص شديد في السرعة) للإلكترون - أو لأي جسيم مشحون سريع بصفة عامة - بسبب تفاعل هذا الإلكترون او الجسيم المشحون مع المجال الكهربائي الشديد للذرة أو النواة تنطلق الطاقة التي يفقدها الإلكترون (أو الجسيم المشحون) بسبب تناقص سرعته في صوره فوتون أشعة سينية يحمل فرق طاقة الإلكترون أو الجسيم قبل وبعد التفاعل . وتسمى الأشعة المتولدة بهذا الأسلوب بالأشعة السينية الانكباحية , ويتميز طيف الأشعة الانكباحية بأنه طيف مستمر أي تتخذ طاقة الفوتونات قيما مختلفة تبدأ من الصفر وتنتهي عند أقصى قيمة لطاقة الإلكترون أو الجسيم المنكبح , ومن أمثلة الأشعة السينية الانكباحية تلك الأشعة التي يتم توليدها في أنابيب الأشعة السينية المستخدمة في التشخيص الطبي وفي التطبيقات الصناعية المختلفة حيث يتم تعجيل الإلكترونات باستخدام فرق جهد كبير ثم تكبح الإلكترونات المعجلة على مادة المصعد (الأنود) فتنطلق الأشعة الانكباحية.

5 قانون التفكك الإشعاعي

نفرض λ ((لامدا) هوعبارة عن احتمال تفكك نواة معينة في الثانية وأن هذا الاحتمال صغير جدا أي أن $0 < \lambda << 1$. معنى ذلك أن احتمال تفكك هذه النواة خلال زمن قصيرمقداره dt هو λdt , فإذا كان عدد النويات النشطة التي لم تتفكك بعد هو N افهذا يعني أن احتمال التفكك لكل النويات خلال الزمن هو

$$(1)\ dN = -N\lambda dt$$

وتعني الإشارة السالبة أن عدد النويات N الباقية دون تفكك يقل كلما زاد الزمن وبقسمة طرفي هذه المعادلة الأخيرة علي العدد N وأخذ تكامل الطرفين مع اعتبار أن عدد النويات النشطة عند الزمن t = 0 هو N_0 نجد أن

$$(2)\ \mathrm{N(t)} = -\mathrm{N_0 e^{-\lambda t}}$$

حيث $N(t)$ هوعدد النويات النشطة والمتبقية دون تفكك حتى اللحظة (t) , وتعرف λ بثابت التفكك decay constant.

5.1الشدة الإشعاعية للعينة

في معظم الأحيان يكون المطلوب هو معرفة عدد النويات التي تتفكك في الثانية وليس عدد النويات الباقية دون تفكك والمحددة بالعلاقة (2) , ويعرف عدد النويات التي تتفكك في الثانية الواحدة من عينة مشعة باسم الشدة الإشعاعية للعينة أي أن الشدة الإشعاعية للعينة هي

$$(3) \qquad \left[\mathrm{A(t)} = \frac{\mathrm{dN(t)}}{\mathrm{dt}} = \lambda \mathrm{N_0 e^{-\lambda t}} = \lambda \mathrm{N(t)} \right]$$

تعرف $A_0 = \lambda N_0$ بالشدة الاشعاعيه عند اللحظه t=0 لذا نجد ان

$$(4) \quad \mathrm{A(t)} = \mathrm{A_0} e^{-\lambda t}$$

عمر النصف ومتوسط العمر

$$t_{1/2} = \frac{In}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (5)$$

عمر النصف (أو العمر النصفي) للنظير المعين هو عبارة عن الفترة الزمنية التي تنخفض خلالها شدته الإشعاعية الى النصف . بمعنى آخر فإن عمر النصف هوالزمن اللازم لتفكك نصف عدد نوى العينة ويرمز له عموما بالرمز , $t_{1/2}$ لهذا فإنه بوضع $N(t) = \frac{N_0}{2}, t = t_{1/2}$ في العلاقه (2) نجد ان $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t}$ أي ان

وحيث ان وحدة الزمن هى الثانية فان وحدة قياس ثابت التفكك λ هى $\frac{1}{\text{second}}$.

اما متوسط العمر لعينة مشعة والذي يرمز له عادة بالرمز τ (تاو) فهوعبارة عن مجموع اعمار الأنوية جميعا في العينة مقسوما علي عددها ويسهل تحديده باستخدام العلاقة (2) كالاتي

$$\tau = \frac{1}{N_0}\int_0^{\infty} dn(t).t = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{0.693} \quad (6)$$

وهكذا نجد ان كلا من λ , $t_{1/2}$, τ مرتبطة ببعضها بعلاقات بسيطة ، ومعرفة احداها يحدد باقيها .

5.2تحديد ثابت الانحلال λ (وعمر النصف $t_{1/2}$ ومتوسط العمر t عمليا

يمكن تحديد ثابت التفكك λ (للعديد من النظائر المشعة باستخدام القانون (4) (والذي يمكن كتابته في الشكل التالي

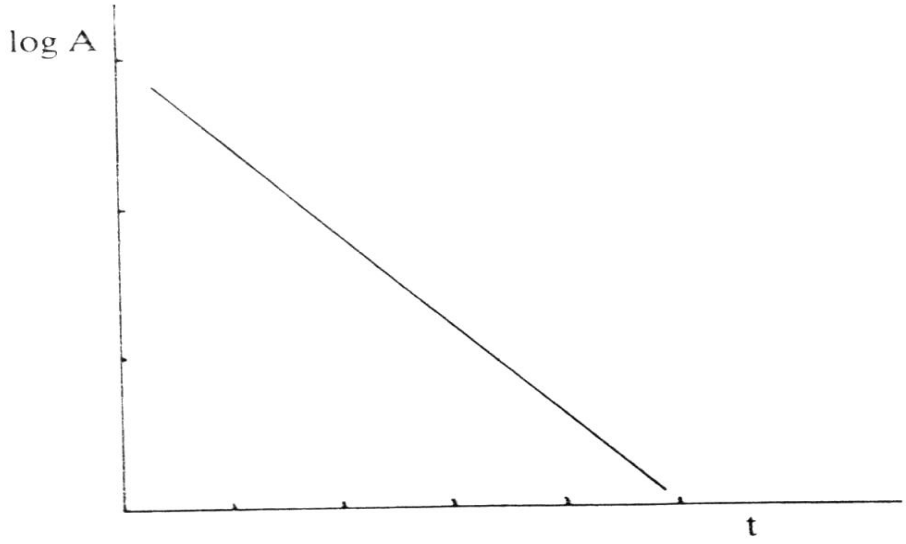
$$In\frac{A(t)}{A_0} = -\lambda t$$

حيث يمثل الرمز (ln) لوغاريتم الاساس الطبيعى (e=2.71) وعند استخدام لوغاريتم الأساس العشرى تأخذ العلاقه الأخيره الشكل التالى :

$$\log \frac{A(t)}{A_0} = -0.4343\lambda t \quad (7)$$

وذلك لأن لوغاريتم أي عدد للاساس العشري = 4343. 0لوغاريتم العدد نفسه للاساس الطبيعي. أي ان

$$\log A(t) = \log A_0 - 0.4343\lambda t \quad (8)$$



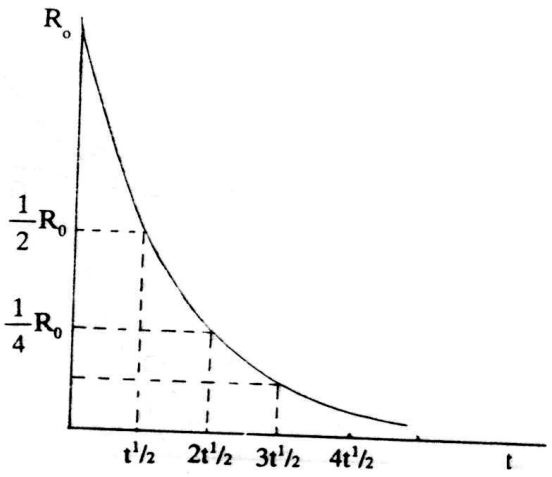
شكل 3-1 العلاقة بين الشدة الاشعاعية logA(t) والزمن t

وهكذا فانه عند قياس الشدة الإشعاعية للعينة كدالة من الزمن ورسم العلاقة بين logA(t) والزمن t فإننا نحصل على خط مستقيم كالمبين في الشكل (3-1) ميله $S = -0.4343\ \lambda$, وبمقارنة الميل المحدد تجريبيا مع هذه القيمة الأخيرة يمكن تحديد قيمةثابت التفكك وبمعرفة ثابت التفكك يسهل إيجاد قيمة عمر النصف $t_{1/2}$ او متوسط العمر t لهذه العينة باستخدام العلاقات ولقياس ثابت التفكك λ لعينة على مافة

مناسبة من عداد الإشعاعات (الجهاز المستخدم لتسجيل عددالاشعاعات) ويتم قياس معدل العد R خلال فترات زمنية متساويه ويجب ملاحظة أن معدل العد (وهو عبارة عن عدد الجسيمات المسجله في وحدة الزمن) يتناسب مع الشدة الإشعاعية للعينة طالما أن وضع العينة بالنسبة للعداد لم يتغير طوال فترة اجراء التجربة أي ان

$$R(t)/R_0 = A(t)/A_0$$

ولسهولة تحديد λ (يستخدم ورق رسم بياني نصف لوغاريتمي حيث يستغنى عن



شكل 3-2 العلاقة بين معدل العدّ R (t) والزمن t

استخراج قيمة اللوغاريتم في كل مرة . ولتحديد الميل نقسم عدد الدورات اللوغاريتمية على الزمن المقابل . ويمكن كذلك تحديد λ (باستخدام العلاقة (7) مباشرة حيث إن

$$\lambda = \frac{\log A_0 - \log A_{(t)}}{0.4343t}$$

وفي هذه الحالة نختار نقطتان متباعدتان علي المستقيم لتمثلا A_o , A(t) ويكون tهو الفارق الزمني المقابل بين النقطتين المختارتين .

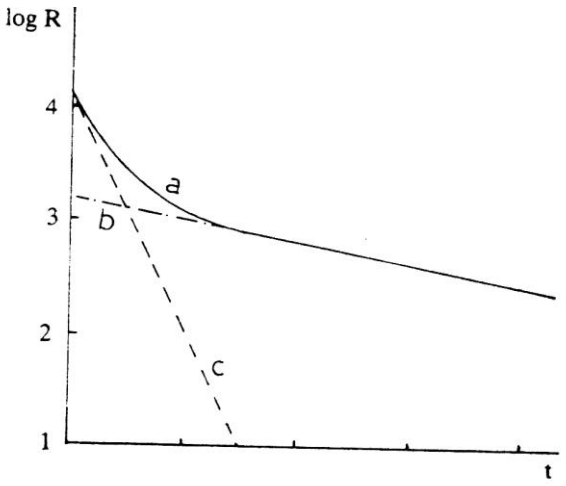
وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن تحديد عمر النصف مباشرة وذلك من العلاقة (4) فعند قياس معدل العد R(t) كدالة من الزمن ورسم العلاقة بين R(t) حيث $R(t) \propto A(t)$ والزمن نحصل على منحنى كالمبين في شكل (2-3) ومنه يمكن تحديد زمن عمر النصف $t_{1/2}$ مباشرة حيث انه عبارة عن الزمن الذي تنخفض خلاله شدة العينة الي النصف .ويلاحظ انه خلال فترتي عمر نصف تصبح شدة العينة $(\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$ من الشدة الاصليه وخلال 7 فترات عمر نصف تصبح الشدة $(\frac{1}{2})^7 = \frac{1}{128}$ من الشدة الاصليه .وخلال 10 فترات تصبح الشده $(\frac{1}{2})^{10} = \frac{1}{1024}$ أي اقل من 0.1% من شدتها الاصليه وهكذا فانه بمرور الوقت تقل شدة العينة وتصبح قيمة مهمله بالنسبة للشده الاصلية ولكنها لا تصل الي الصفر . وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن تحديد ثابت التفكك أو عمر النصف بهذه الطريقة بالنسبة للنظائر التي يتراوح عمرها النصفي بين عدة ثوان وعدة سنوات, اما بالنسبة للنظائر التي يبلغ عمرها النصفي قيما عالية (كاليورانيوم -238مثلا والذي يبلغ عمره النصفي 4.468×10^9 سنة) فإنه لا يمكن تحديد أعمارها النصفية أو ثابت التفكك لها بهذه الطريقة حيث إن الانخفاض في الشدة الإشعاعية لها لا يكون محسوما خلال زمن التجربة حتى ولو استمر هذا الزمن عشرات السنين لذا فإنه لتحديد ثابت التفكك للنظائر ذات العمر النصفي الطويل فإنه يجب معرفة عدد النويات النشطة الموجودة في العينة في لحظة معينة , ولما كان

$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = A = \frac{R}{c}$$

حيث C عباره عن ثابت يحدد نسبة عدد الجسيمات التي يسجلها العداد الي عدد جميع الجسيمات الصادره من العينه N يمكن تحديد ثابت التفكك وبالتالي حساب عمر النصف للنظير المعين اما بالنسبة للنظائر ذات العمر النصفي الصغير فتستخدم طرق أخري لتحديد اعمارها النصفيه .

5.3تحديد العمر النصفي للنظائر المختلطة

يحدث أحيانا ان تكون العينة غير نقية وتحتوي على خليط من بعض النظائر المختلفة . فإذا كان الخليط مكونا من عدد محدود من النظائر المشعة (اثنين او ثلاثه) وأختلفت الاعمار النصفية لهذه النظائر اختلافا ملموسا فإنه يمكن تحديد العمر النصفي لكل نظير في المخلوط حتى عندما تكون الجسيمات الصادرة من النظائر المختلفة من النوع نفسه, ولإجراء ذلك يجب قياس معدل العد R (t) للعينة كدالة من الزمن ورسم العلاقة بين log R والزمن t ولغرض الإيضاح نفرض .ن العينة تحتوي على خليط من نظيرين فقط ،



شكل 3-3 العلاقة بين لوغاريتم معدل العدّ log R والزمن t لعينة تحتوي على خليط من نظيرين فقط

وأن المنحنى المستمر a على الشكل (3-3) يحدد العلاقة بين T , log R

يلاحظ ان الجزء الأيمن من هذا المنحنى يمثل خطا مستقيما وهو بمثابة خط التفكك بالنسبة للنظير ذي العمر النصفي الأكبر، حيث ان النظيرالآخر أسرع تفككا لصغر عمره النصفي , وعند مد الجزء المستقيم من المنحنى a الى اليسار نحصل على المستقيم b الذي يمثل التفكك بالنسبة للنظير الأطول عمرا ويطرح المستقيم b من المنحنى a و نحصل على مستقيم آخر هوc الذي يعتبربمثابة خط التفكك للنظير الأقصر عمرا , وبتحديد الميل لكل مستقيم من هذين المستقيمين يمكن تحديد ثابت التفكك لكل نظير على حدة.

5.4التفكك الإشعاعي المتتابع

عند تفكك النواة الأم الي نواة وليدة فإنه قد تكوذ النواة الوليدة نشطة اشعاعيا , عندئذ تتفكك النواة الوليدة الى نواة حفيدة وهكذا تستمر العملية الي أن تصل في النهاية الى نواة مستقرة , وتعرف هذه العملية بالتفكك الإشعاعي المتتابع. فعلي سبيل المثال تتفكك نواة الراديوم 226(عمره النصفي 1.6×10^3) الى الرادون 222, وتتفكك هذه الأخيرة (عمرها النصفي 82. 3يوم) الي نواة البولونيوم 218التي تعتبرهي الأخرى مشعة (عمرها النصفي 3.05 دقيقة) , وهكذا تستمر العملية الى أن تصل في النهاية الى نواة الرصاص 208المستقرة , والغرض من دراسة التفكك المتتابع هو معرفة عدد الذرات (النوى) في كل عضومن أعضاء هذه السلسلة , فاذا رمزنا لعدد ذرات العنصر الأم عند الزمن t بالرمز N_1 وثابت التفكك له هو λ_1 وعدد ذرات العنصر الوليد N_2 الذي يعتبر بدوره نشطا وثابت التفكك له هو λ_2 وعدد ذرات العنصر الحفيد N_3 وهو عنصر مستقر . واذا فرضنا أنه عند اللحظة t=0 كان عدد ذرات كل جيل هو

$$N_1 = N_{10}, N_2 = 0, N_3 = 0$$

اي أنه عند تحضير العينة كانت كلها من ذرات العنصر الأم . وباستخدام العلاقة( ) ، والأخذ في الاعتبار أن معدل تفكك الذرات الأم يساوي تماما معدل تكوين الذرات الوليدة ، وان معدل تفكك الذرات الوليدة مساو لمعدل تكوين الذرات الحفيدة فانه يمكن التعبيرعن العملية كلها بالمعادلات الثلاث التالية:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (9)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (10)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (11)$$

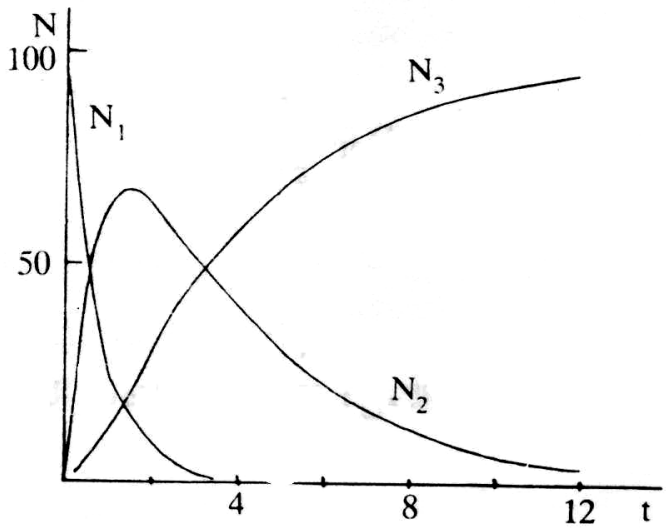
وتحدد العلاقة (9) معدل التفكك بالنسبة للذرات الام وذلك طبقا للقانون الاساسي للتفكك الإشعاعي وأما العلاقة (10) فتعني أن الذرات الوليدة تتكون بمعدل $\lambda_1 N_1$ وتتفكك بمعدل $\lambda_2 N_2$ في حين أن العلاقة (11) تحدد معدل تكوين الذرات الحفيدة المستقرة N_3 ويحل مجموعة المعادلات (9) حتى (11) فانه يمكن تحديد عدد ذرات كل نوع من الأعضاء الثلاثة للسلسلة كدالة من الزمن (t)

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (13)$$

$$N_3 = N_{10} (1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \quad (14)$$

وهذه العلاقات صحيحة اذاكان $N_{32} = N_{20} = 0$ عند لحظة الصفر اما اذا اختلف كل منهما عن الصفر فيصبح عدد الذرات الوليدهوالحفيده كداله من الزمن هو



شكل3-4 تغير كل من عدد الذرات N_1 ، N_2 و N_3 مع الزمن t لنظير الروثينيوم ١٠٥

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{-\lambda_2 t}$$

(15)

$$N_3 = N_{30} + N_{20}(1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_{10}(1 + \frac{\lambda_2 t}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t}$$

(16)

ويوضح الشكل (3-4) كيفية تغيير كل من $N_1 = N_2 = N_3$ كدالة من الزمن للتفكك المتتابع لنظير الروثينيوم -105 حيث يتفكك الي الروديوم -105 وهذا الاخير الي البلاديوم -105 المستقر

$$Ru_{44}^{105} \xrightarrow[t_{1/2}]{\beta^-} Ru_{45}^{105} \xrightarrow[t_{1/2}=35H]{\beta^-} Pd_{46}^{105}$$

حيث يعبر المحور الرأسي عن عدد النوى الام والوليدة والحفيدة عندما يكون عدد النوى

$$N_{20} = N_{30} = 0$$

$N_{10} = 100$ في حين يعبر المحور الأفقي عن الزمن بالساعة ويلاحظ ان N_1 يتناقص اسيا طبقا لقانون التفكك الإشعاعي أما N_2 فيكون صفرا عند t=0 ثم يزداد طبقا للعلاقة (12) الي ان يصل الى اقصى قيمة عند زمن يساوي تقريبا ثلاثة اضعاف العمر النصفي ثم ينخفض من جديد اما بالنسبة للنوى الحفيدة فتكون أولا مساوية للصفر ثم تزداد ببطء كبيرولا تقترب من نهايتها (أي 100%) الا بعد انقضاء زمن طويل (حوالي 5 أضعاف العمر النصفي للنظير الوليد).

5.5التوازن الإشعاعي

عموما التوازن بالنسبة لاي كمية فيزيائية يعنى ان هخذ الكية لا تتغير بالنسبه للزمن .
فاذا طبقنا هذا التعريف علي جميع اعضاء سلسلة التفكك المتتابع فان هذا يعني عدم تغير كل من N3, N2 ,N1 بانسبه للزمن ,

وبذلك فان شروط التوازن للتفكيك المتتابع هي

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = \frac{dN_3}{dt} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda N_1 = 0$$

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 = \lambda N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (18)$$

$$\lambda N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (19)$$

وعموما لا يمكن ان يحدث التوازن بمعناه الحرفي لان هذ يعنا بالنسبه للنواه االام النشطه وهذا يعني ال النواه غير نشطه وهو ما يتعارض مع نشاط النواه.

5.6التوازن الابدي

يمكن أن تتحقق حالات هي أقرب ما يمكن إلى التوازن . وتحدث هذه الحالات عندما تكون λ صغيرة وتقترب من الصفر (أي أن العمر النصفي للنظير الأم كبيرجدا) في حين أن $\lambda_1 << \lambda_2$ وبالتعويض عن λ بقيمة صغيرة في العلاقة (2~20) تتخذ هذه العلاقة الشكل التالي

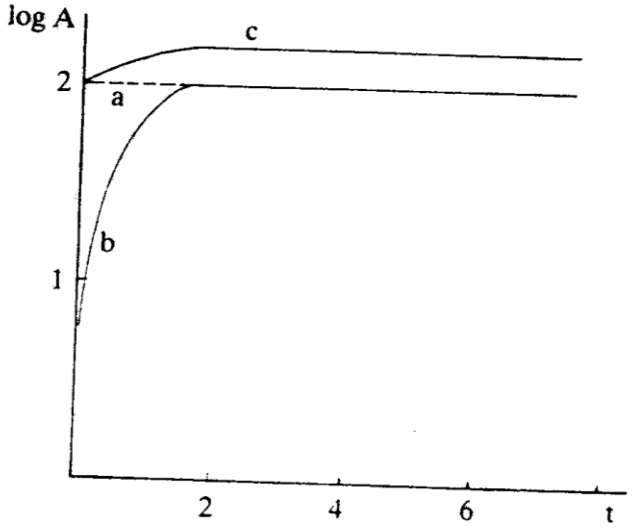
$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10}(1-e^{-\lambda 2t}) \quad (20)$$

وتبين العلاقه (20) انه بزيادة الزمن t يقترب الحد $e^{-\lambda at}$

من الصفر وبالتالي نجد ان :

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} \quad (21)$$

أي أنه يتحقق التوازن الأبدي حيث تصبح الشدة الإشعاعية للنوى الوليدة مساوية تماما للشدة الإشعاعية للنوى الأم , ويعكس شكل(3-5) صورة التوازن الأبدي حيث يبين الخط a الشدة الإشعاعية للنوى الأم وهي ثابتة وتساوي $\lambda_1 N_{10}$ حيث ان العمر النصفي كبيرجدت النصفي كبيرجدا) , أما الشدة الإشعاعية للنوى الوليدة (المنحنى b) فهي تزداد بمرور الوقت الي أن تصل لقيمة ثابتة $\lambda_1 N_{10}$ (ويبين المنحنى C الشدة الإشعاعية الكلية لكلا النظيرين المتتابعين



شكل (3 -5) صورة التوازن الأبدي

ويمكن استخدام التوازن الأبدي لقياس ثابت التفكلك للنظائر ذات العمر النصفي الكبير وذلك باستخدام العلاقة (21) , ولهذا الغرض يجب معرفة ثابت التفكك - واللنظائر الوليد ذى العمر النصفي الصغيرء وعدد ذرات النظير الأم ونمبة وجود النوى (الذرات) الأم مع النوى الوليدة بعد حدوث التوازن وبذلك يسهل تحديد.

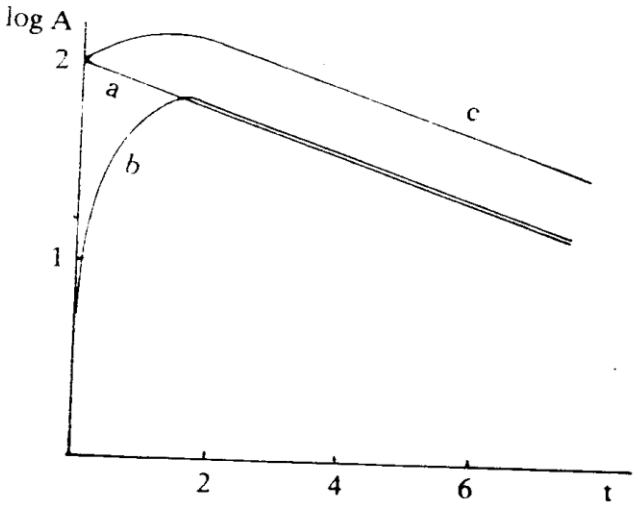
مثال ملح من املاح البورانبوم -238 وجد ان يحتوى على نسبة ضئلة جدا من الرادبوم 226وهذا الى الرديوم بتكون ننبجة للتفكك المتتابع لليورانبوم 238. فاذا كانت هذه النسبة هي عبارن عن ذرة واحدة لكل 2.8 0× 10^6 ذرو يورانيوم فإذا علمت ان العمر النصفي للراديوم هو 1670 سنة فما هو العمر النصفي لليورانيوم

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda 1} = t_t$$ الحل أي ان $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$

=4.54×10^9 سنة

5.7التوازن الانتقالي

وهناك نوع آخر من التوازن يعرف باسم التوازن الانتقالي ويحدث هذا التوازن عندما



شكل(3-6) التوازن الانتقالي

كون ثابت التفكك λ_1 , (للظير الأم أصغر من ثابت التفكك λ_2 - للنظير الوليد ولكن λ_1 ليس قريب من الصفر (أي أن العمر الاقتراضي للنظير الأم ليس كبيرا) . في هذه الحالة لايمكن اعتبار $\lambda_1 = 0$ ومع ذلك فإن الحد الأسي $e^{-\lambda_2 t}$ يقترب من الصفر أسرع من الحد الادني $e^{-\lambda_1 t}$ فإنه بعد مرور زمن كاف يحدث التوازن الانتقالي

وتتخذ العلاقة (12) الشكل التالي

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{-\lambda_1 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 \quad (22)$$

وهذا يعني ان النوي الوليده تتفكك بنفس معدل تفكك النوي الام وبذلك تكون النسبة بين الشده الاشعاعيه لكل من النوي الام والنوي والنوي الوليده هي .

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\lambda_1 N_1}{\lambda_{2N_2}} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2} \quad (23)$$

وتبين هذه العلاقه ان الشده الاشعاعيه للنوي الوليده تصبح بعد فتره زمنيه معينه اكبر من الشده الاشعاعيه للنوي الام وهذا ما يوضحه شكل (3-6) الذي يبين الشده الاشعاعيه لكل من النوي الام والنوي الوليده كداله في الزمن t اذا كان عدد النوي الوليده عند t=0 مساويا للصفر.

5.8وحدات قياس النشاط الاشعاعي

حتي وقت حديث جدا كانت الوحدة الأساسية لقياس الشدة الإشعاعية للعينة هي الكوري (Ci) و أجزاؤه وهي المللى كوري والميكروكوري وقد ارتبط الكوري تاريخيا بأنه الشدة الإشعاعية (عدد التفككات في الثانية الواحدة) لجرام واحد من الراديوم . وبعد معايرة الشدة الإشعاعية لجرام الراديوم وجدت انها مساويه3.7×10^{10} تفكك في الثانية وبذلك أصبح تعريف الكوري وأجزائه هو:

كوري واحد = 3.7×10^{10} تفكك في الثانية

ميللي كوري = 3.7×10^{7} تفكك في الثانية

ميكروكوري كوري واحد = 3.7×10^{4} تفكك في الثانية.

وينتج عن التفكك الواحد عادة جسيم مشحون (بيتا أوالفا) ويصاحب ذلك معظم الحالات وليس في كلها إصدار شعاع أو إشعاعات جاما . والوحدة العيارية الدولية الان للشده الآشعاعيه هي البيكريل (عباره عن تفكك نووي واحد في الثانيه) والبيكريل عبارة عن تفكك نووي واحد في الثانية . وبمقارنة البيكريل بالكوري نجد أنه وحدة صغيرة جدا . لذا تستخدم مضاعفات البيكريل وهي الكيلوبيكريل والميجابيكريل وغيرها وقيمتها كالتالي :

بكريل واحد 1= ا تفكك في الثانية

كيلوبكريل =10^3 تفكك في الثانية

ميجابيكريل=10^6 تفكك في الثانية

جيجابيكريل =10^9 تفكك في الثانية

تيرابيكريل =10^{12} تفكك في الثانية

وهناك وحدة ثالثة ولكنها نادرة الاستخدام وهي راذرفورد (rd) وهي عبارة عن 10^6 تفكك في الثانية وأجزاؤها هي المللي راذرنورد والميكرو راذرفورد

وسوف نستعرض فيما يلي تفصيل الاشعاع المعرض له الانسان

6مصادر التعرض الى الاشعاع

من الممكن تقسيم مصادر الاشعاع المسببة لتعرض البشر الى مصادر الاشعاع الطبيعية ومصادر الاشعاع الصناعية ومصادر الاشعاع الطبيعية المحورة صناعيا . وبالاضافة الى ذلك فان مصادر الاشعاع اما ان تكون مصادر خارجيه وهي تشمل الاشعه الكونية وتعتبر هذه المصادر ذات منشأ غير ارضي ومصادر الاشعاع ذات المنشأ الارضي ومن امثلتها النويدات المشعه التي في قشرة الارض وكذلك التي في مواد البناء والهواء، ومصادر داخلية وهي المؤلفة من العناصر المشعة الموجودة بصورة طبيعية والتي تؤخذ داخل الجسم وتسبب نعرضا داخليا.

6.1النظائر المشعه الطبيعية

تفسم النظائر المشعة الطبيعية حسب منشئها الى ثلاثة اقسام الاول منها منشؤه يرجع الى صنعها خلال خلق النظام الشمسي حيث يبلغ عمر النصف لهذه النظائر المشعة نفس عمر الارض (5×10^9) سنه وتشمل هذه المجموعة اليورانيوم - 238

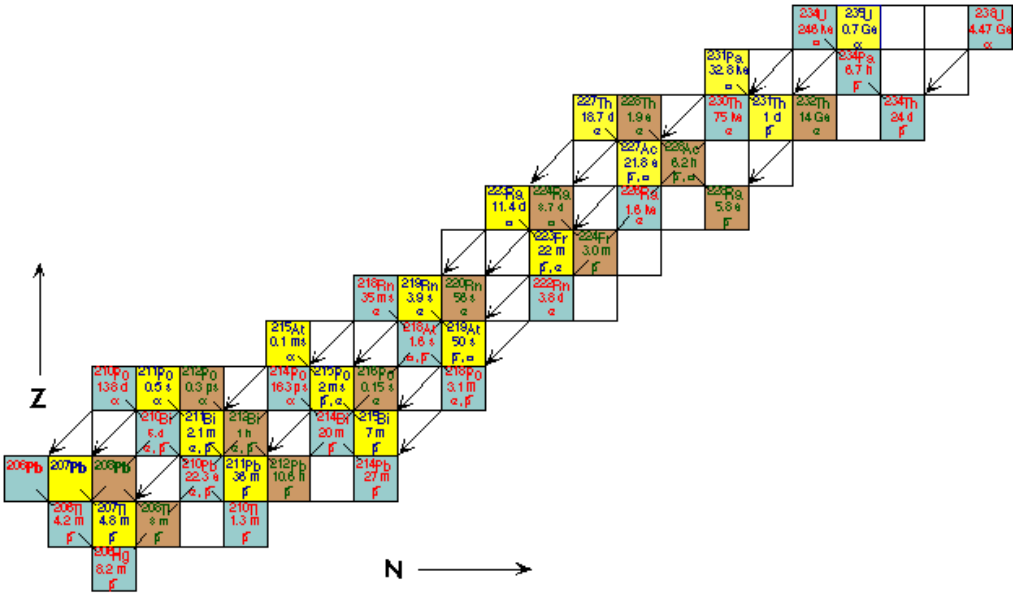
واليورانيـــوم 235 والثوريـــوم232والبوتاســـيوم40و الرايـــديوم 87 والقصـــدير124 واللانثيوم138 والسامريوم147

وبعض النظائر المشعه القليلة الوجود جدا والقسم الثاني وهي النويدات المشعة التي تنتج عن الاضمحلال الطبيعي او الانشطار للمجموعة الاولـى ويكـون عـددها بالعشـرات وتتراوح اعمار النصف لها بين اجزء من الثانيـة الـى1× 105 سـنة والمجموعـة الثالثـة تشمل نواتج التفاعل بين الجسيمات النوويه المشعة.

والاوساط البيئية مثل الهواء والماء والصخور ومن امثلة هذه المجموعـة التريتيـوم والبرليوم - 7 والبرهيرم - 10 والكربون - 15 والكلور - 16 التي تنشأ من التفاعل مـع الاشعة الكونية ذات الطاقات العالية ان بع العناصر تتكون نتيجـة الاسـر النيـوتروني او انها من منشا غير ارضي كالكواكب الصغيرة والكبيرة .

6.2النشاط الاشعاعي في قشرة الارض

ان النشـاط الاشـاعي الـذي فـي قشـرة الارض يمثـل النويـدات المشـعة ذات المنشـأ الارضي مثل البوتاسيوم40 وكـذلك العناصـر المشـعة التابعـة لسلاسـل اليورانيـوم 238 الشـكل والثوريـوم 232 (الشـكل (4-1))وهـي النويـدات المشـعة التـي فـي قشـرة الارض خلال تاريخها الطويل



شكل 4-1 لسلاسل اليورانيوم 238 والثوريوم 232

كما ان بعض نواتج الانشطار الذاتي لليورانيوم .238 ايضا بالاضافة الى وجود نواتج الانشطار ذات العمر الطويل ولكن معدل الأنشاط الاشعاعي الناتج من تراكيز هذه العناصر يكون ضئيلا جداً ويختلف تركيز النشاط الاشعاعي باختلاف الصخور التي تشمل:

6.2.1الصخور البركانيه

ويتعلق تركيز العناصر المشعة في الصخور البركانية بكمية السلكات كما ان قلوية التربة تحدد النشاط الاشعاعي فالصخور الحامضية ذات نشاط اشعاعي اعلي من الصخور الشديدة القلويه.

6.2.2الصخور الرسوبيه

عند تكسر الصخور فان اليورانيوم اما ان ينتقل مع بقايا الصخور او ان يذوب في المياه السطحية او المياه الحوفية وهو ينتقل بصورة رئيسية على شكل مركبات كاربونية في القعر الرسوبي وفي هذه الحالة فان الترسبات التي في قعر المياه كالطمى تصبح غنية

باليورانيوم , ان مركبات الثوريوم تكون عمليا غير ذائبة وهي بذلك اما ان تبقى في محلها في بقايا الصخور المتفتته وتدخل في تركيب املاح ثانوية مثل المونوزايت الذي يحوي على تراكيز عالية من الثوريوم .

6.3النشاط الاشعاعي في التربه

يعتمد النشاط الاشعاعي في التربة على النشاط الاشعاعي في الصخور التي كونت التربة وعلى الفعاليات الكلية التي حدثت لتكوين التربة وعلى تركيز لليورانيوم وللثوريوم والبوتاسيوم يكون في ترب ناشئة من صخور بركانيه حامضبه وطمى .

6.4النشاط الاشعاعي في الماء

يكون تركيز اليورانيوم والثوريوم في المياه 10^{4} -10^{3} مرة اقل من تركزهما في التربة والصخور وان هنالك تغيرا حادا في الموازنة بين الاهل والبنات كما ان تركيز اليورانيوم غالبا ما يطغي على تركيز الثوريوم كما انه يوجد من الرادون كميات اكبر بصورة ملموسة من الراديوم في المياه تكون نسبة اليورانيوم في المياه الطبيعية قليلة الا ان ماء الحنفية قد يحوي بعض المناطق تراكيز عالية جدا حيث وجد ان بعض انواع المياه في الاتحاد السوفيتي تحوى على تراكيز عالية جداً 2.6 KBq لكل متر مكعبه.

كما ان تركيزمياه الابارفي بلدان اخري فنلندا مثلا قد يصل الى 2×10^{5} بكريل للمتر الكعب الواحد ويعتقد ان السبب في ذلك يرجع الى وجود بعض المناطق الموضعية الغنية باليورانيوم اما الراديوم 226 فان نسبته في المياه السطحيه قليله مقارنة بالمياه المعدنية ومياه الابار.

6.5النشاط الاشعاعي في الهواء

يأتي النشاط الاشعاعي في الهواء من عدة مصادر وهي انبعاث من السلاسل المشعة وبصورة رئيسية الرادون والثورون ونواتج اضمحلالها (حيث تمر الغازات المتحررة عن طريق الاوعية الشعرية للتربة (كما ان النشاط الاشعاعي لطبقات الجو الدنيا (troposphere) التي يتراوح ارتفاعها من صفر لغاية 10 الي 15(كم) ياتي من الرادون والثورونومن نواتج اضمحلالهما وبالدرجة الاساس النظائر المشعة

القصيرة العمر مثلالبونيوم - 218 والرصاص - 218 والبزموث – 224 وبينما تضيف النظائر المشعة الطويلة العمر مثل الرصاص - 210 والبزموث – 210 والبولونيوم – 210 اعداد قليلة في الماثة وتقل تراكيز المواد المشعة المنبعثة ونواتج اضمحلالها القصيرة العمر كلمازاد الارتفاع كما ان تراكيز العناصر المشعة المنبعثة في طبقة الهواء الارضية تكون اكثر من 100 ضعف قوة اليابسة من سطح البحر ان تراكيز العناصر المشعة الطبيعية التي في الجو . وتتغير تراكيز العناصر المشعة في الجو باختلاف الوقت واعلى تركيز للرادون يتم ملاحظته في ساعات النهار واقل تركيز يكون في فصل الصيف واعلى تراكيز في فصلي الخريف والشتاء . ويؤدي سقوط الامطار بصورة كثيفة الى تنقية الجو نتيجة سحب الجزيئات المشعة العالقة من قبل قطرات المطر وجسيمات الثلج كما ان المصدرالرئيسي لليورانيوم الطبيعي والراديوم _226 في الجو هو تطاير ذرات الغبار من الارض واعادة تعلقها في الجو ويقدر تركيز الفعالية لليورانيوم الطبيعي في الهواء الملامس لسطح الارض بـ MBq1.2 لكل متر مكعب.

يحوي الهواء كذلك على الرادون - 222 ونواتج اضمحلاله القصيرة ألعمر مثل البولونيوم - 218 والرصاص - 214 والبزموث 214 والبولونيوم -214 ان معدل تركيز الرادون -222 المكافئ في الهواءالمحصور داخل الابنية يبلغ عشرة اضعاف تركيزه في الهواء الطلق . اما نواتج اضمحلال الرادون -222 الطويالا العمر كالرصاص 210والبزموث -210 والبولونيوم -210فان المصدر الرئيسي لها في الجوهر انبعاث الرادون -222 من الارض .

كما ان انتقال الثوريوم -232الي الجو يكون بفعل تطاير الغبار وهنالك كميات من الرادون -220 ونواتج اضمحلاله القصيرة العمر مثل البولونيوم -216 والرصاص - 212 والبزموث -212والبولونيوم -212 التي في الجو كذلك .

6.6العناصر المشعه فى الكائنات الحيه

يكون النظير المشع البوتاسيوم - 40 واسع الانتشار في الكاثنات ألحيةوهو الذي يحدد بالدرجة الاولي النشاط الاشعاعي في المواد الحية . يعتبرالبوتاسيوم من العناصر الاساسية في الجسم ويخضع تركيزه فيه الي حالة تنظيم داخلي ومعدل تركيز البوتاسيوم في جسم الذكورالبالغين هو جرامان لكل كيلو جرام من الجسم وبذلك يكون تركيز الفعالية هو 60 بكريل لكل كيلو جرامكما تبلغ مكونات النباتات من البوتاسيوم – 40 نحو

0.05% من الوزن الرطب تعتمد مكونات النباتات من اليورانيوم والثوريوم والراديوم الي درجة كبيرة على النشاط الاشعاعي للوسط المحيط وهذه النباتات لا تستطيم عمليا الاحتفاظ بالرادون و الثورون حيث يبلغ انبعاثهما 100% يبلغ ما يؤخذ من اليورانيوم -238 في الاغذية سنويا نحو 5 بكريل في المناطق التي يكون النشاط الاشعاعي طبيعيا فيها .

وتركيز الفعالية لليورانيوم في جسم الانسان يقدر بنحو 0.15 بكريل لكل كيلو جرام من العظام و$3x10^3$ بكريل لكل كيلو جرام في الانسجة الطرية . ان الثوريوم في جسم الانسان يتركز في العظام وهذا التركيز يزداد بتقدم العمر ويبلغ تركيز الفعالية للثوريوم في العظام $3x10^2$ بكريل لكل كيلو جرام من العظام ويقدر$3x10^4$ بكريل لكل كيلو جرامفي الانسجة الطرية . وتركيز الراديوم - 226 في الانسجة الطرية للبشر يبلغ حوالى 2.7 MBq ويمثل البولونيوم -210 حالة مهمة في الكائنات الحية وذلك يأتي بسبب انه موجود في التبغ حيث تحوي السجائر على نحو 15MBq منه وانه كذلك يتركز في الاجزاء التي تؤكل من الاحياء البحرية .

7الاشعه الكونيه

تعتبر الاشعاعات ذات الطاقات العالية التي تدخل الى فضاء الارض من الفضاء الخارجي من الاشعاعات الكونية الابتدائية وعندما تتفاعل هذه الاشعة مع نوى الذرات في الفضاء تتولد كذلك جسيمات ثانوية مصحوبة باشعة كهرومغناطيسية وتعتبر هذه هي الاشعه الكونيه الثانويه .

7.1الاشعه الكونيه الابتدائيه

تتولد معظم الاشعه الكونية الابتدائية من مجموعة كواكب الارض وبالاضافة الى ذلك فان هذه الاشعه الكونية تاتي من الشمس عند حدوث الانفجارات الشمسيه

7.2الاشعه الكونيه الناتجه من الكواكب

تتالف هذه الاشعة من بروتونات ذات طاقات عالية تدخل المنظومة الشمسية من الفضاء الخارجي بالاضافه الي ايونات الهيليوم التي تؤلف نحو 10% ونسباً قليله من جسيمات ذات طاقات اعلي والكترونات وفوتونات ونيوترونيات

7.3الاشعه الكونيه الشمسيه الابتدائيه

ان كميات كبيرة من الطاقة تتحرر من الجسيمات المشحونة التي تكونبالدرجة الاولى من بروتونات وجسيمات الفا نتيجة للانفجارات الشمسيه ولكن هذه الجسيمات تكون ذات طاقات واطئة نسبيا.

7.4الاشعه الكونيه الثانويه

عندما تدخل الجسيمات الابتدائية للاشعة الكونية الغلاف الجوي فانه تحدث تفاعلات نووية من نوع تفاعلات التشظي مع نوى الذرات التي فيالهواء مما يولد نيوترونات وبروتونات وبعض نواتج التفاعل الاخربكما ان البروتونات والنيوترونات ذات الطاقات العالية تتفاعل مرة اخرى مع النوى التي في الهواء مولدة جزيئات ثانوية اكثر وتدعى هذه ألعملية السلسلة .

7.5النويدات المتولده بفعل الاشعه الكونيه

وتشمل هذه النويدات المشعة التريتيوم و البرليوم - 7 والكربون - 14وانصوديوم - 22 . ان المصدر الرئيسي للتريتيوم هو الغلاف الجوي وهو يتولد من تفأعل النيوترونات التي في الاشعه ألكونية مع النايتروجين والاوكسجين . ان كمية التريتيوم التي في الجو تقدربـ بكريل وتتحول 99% منهذه الكمية الي ماء محتو على التريتيوم ويشارك هذا النوع من الماء في دووة المياه الطبيعية . ان النشاط الاشعاعي للمسطحات المائية قبل حصول التفجيرات النووية كان يتراوح بين 200الي 900 بكريل في المترالمكعب الواحد لمياه المحيطات .ان التريتيوم يدخل في النباتات المستعملة في الاكل على هيئة ماء محتوعلى التريتيوم او علي شكل مادة عضوية . ان تركيز البرليوم -7 في المناطق الحارة يبلغ 3 مليبكريل في المترالمكعب من الهواء السطحي ونحو700 بكريل في المتر المكعب الواحد من مياءالامطار ان طريق انتقال البرليوم -7 الرئيس الي الانسان هوطريق تناول الخضروات الورقية . يتكون الكربون -14 الطبيعي في اعالي الجو بواسطة التفاعل الذي يحفز بواسطة النيوترونات الكونية اما الصوديوم -22 فان تركيزه فى الجو يكون قليلا جداً.

7.6المواد المشعه الناتجه من توليد الطاقه الكهرونوويه

تستعمل الطاقة النووية بالدرجة الاساس لتوليد الطاقة الكهربائية وذلك بتشغيل المحطات الكهرونووية مما يتطلب الحصول على الوقود النووي كاليورانيوم مثلا الذي يستخرج من المناجم ويطحن وقد يدعو تصميم المحطات الكهرونووية الى استعمال وقود نووي يكون اكثر تخصيبا من اليورانيوم الطبيعي ويشمل التخصيب عادة اضافة اليورانيوم - 235 وبعد هذه العملية يتم تصنيع قضبان الوقود الذي يستعمل في انتاج الطاقة الكهربائية في المحطات الكهرونووية وهناك انوع من هذه المحطات تستعمل انواع اخرى من الوقود يحصل عليها عادة باستخلاصها من الوقود الذي سبق استعماله .

و تنشأ عن تشغيل المحطات الكهرونووية نفايات مشعة يجري ردمها اضافة الى ذلك فان مواد الوقود النووي تنقل بين المنشآت المختلفة في مراحل توليد الطاقة الكهرونووية .

ان معظم المواد المشعة المتولدة من فعاليات انتاج الطاقة الكهرونووية تنتج عن تشعيع الوقود النووي ويضيف التنشيط النيوتروني لمواد الهيكل وحاويات الوقود وكذلك وجود بعض النظائر المشعة الطبيعيه في مراحل التعدين والطحن إلى هذا النشاط الإشعاعي .

إن معظم النظائر المشعة التي تطرح الى البيئه تؤثر في المواقع التي تتواجد فيها المنشآت النووية والتي قد تسبب بعض القلق الا ان الكثير من هذه النظائر المشعة ذات عمر نصف قصير جدا بالاضافة الى محدودية حركتها في البيئة وهنالك بعض النظائر المشعة ذات عمر نصف طويل وهي سريعة الانتشار في البيئة مما يسبب انتشارها عالمياً

7.6.1المواد المشعة الناتجه من تعدين وطحن اليورانيوم

يوجد اليورانيوم على شكل خامات في عدد من بلدان العالم ويحصل عليه بواسطة التعدين , ان عمليات تعدين اليورانيوم تتضمن ازالة كميات كبيرة من خامات اليورانيوم من باطن الارض حيث تحوي هذه الخامات علي اليورانيوم وبناته بتراكيز تبلغ عدة الاف اضعاف هذه النظائر المشعة التي في البيئة الارضية ويبلغ تركيز اليورانيوم في الخامات بعد التعدين بين 0.1% الي نحو 3% من اوكسيد اليورانيوم .

ان المصدر الرئيسي للاشعاع في التعدين تحت الارض لليورانيوم هو الرادون ~ 222 ان الخطوات التي تمثل تولد مصادر رئيسية للاشعاع في عمليات الطحن هي عملية التكسير والتجفيف وتعبئة مسحوق اليورانيوم الاصفر.

ان الرادون - 222 هو المكون الوحيد للغازات المشعة المطروحة من المناجم عن طريق التهوية حيث تطرح كميات كبيرة منه في الهواء . ان النفايات المشعه السائلة ترمى في برك يتم فيها ترسيب المواد الصلبة وتبخير الماء . وتتولد كذلك في عمليات التعدين والطحن مصادر اشعاعية صلبة تشمل الصخور والخامات الرديئة النوعية .

كما ان كمية الرادون - 222 المتولدة من التعدين تتراوح بين (0.1GBq الي 02GBq) لكل طن من اليورانيوم الخام

تولد مطحنة اليورانيوم غبارا مشعا يطرح الي الجو يأتي بالدرجة الاساس من عملية تجفيف المسحوق الاصفر ومن عملية تعبئتة ويكون هذا الغبار حاويا بالدرجة الاساس اليورانيوم – 238 والثوريوم – 232 والراديوم -226 والرصاص - 210 والرادون – 222 تكون بقايا مطاحن اليورانيوم مصادر للاشعاع حتي بعد ايقاف هذه

المطاحن عن العمل ومن الممكن ان تكون مصدرا للتلوث لوقت طويل وذلك عن طريق الريح والتآكل الحاصل بواسطة الماء وانبعاث الرادون والوقاية من هذه الحالة تتم باستعمال مواد محلية لتغطية البقايا كالحصو و الطمى او الاغطية الصناعية ومواد الاغلاق مثل الاسفلت . وبالرغم من ان البقايا تحوي بضعة اجزاء بالمائة فقط من اليورانيوم الاصلي فان المصدر الرئيس للاشعاع هو الثوريوم -230 الذي يكون عمر النصف له سنة حيث يقوم بإنتاج الراديوم - 226 الذي يطلق الرادون

7.6.2المواد المشعة الناتجة من تصنيع الوقود النووي :

يعامل مركز خامات اليورانيوم الناتج في المطاحن بصورة اكثر وينقى وغالبا ها يخصب باليورانيوم - 235 قبل ان يحول الى اوكسيد اليورانيوم الذي تصنع منه قضبان الوقود ويتم التخصيب بزيادة نسبة اليورانيوم -235 ويجري عادة في معامل تنافذ الغازات حيث يتم الضخ خلال سلسلة من الاغشية المسامية التي تعرقل مرور النظائر المشعه الاكثر ثقلا تولد عمليات التخصيب كميات كبيرة من اليورانيرم المستنفد الذي يصبح مصدراً لتعرض السكان فيما اذا ردم او خزن لغرض تحويله الي البلوتونيوم - 239 القابل للانشطار ان معظم المصادر الاشعاعية المتولدة من عملية تصنيع الوقود تكون صلبة وان قسما منها يكون على شكل مواد سائلة تجمتع في خزانات للترسيب او في برك وان هذه المواد تكون محتوية على الثوريوم -230 والراديوم -226 يالاضافه الي اليورانيوم -235 واليورانيوم – 234 والثوريوم -234

7.6.3المواد المشعة الناتجة من تشغيل المحطات الكهرونووية

تتولد نواتج الانشطار خلال فترة توليد الطاقة من قبل المفاعلات النووية وتتكون نواتج الانشطار هذه في الوقود النووي بالاضافة الي ان النيوترونات تولد مكونات مشعة في الهياكل وحاويات الوقود , ان الفعالية الاشعاعية توجد كذلك في وسط التبريد وذلك لانه يصبح مشعا بالاضافة الى تسرب المواد المشعة بطريقة الانتشار نتيجة وجود بعض التلف في جزء قليل من حاويات الوقود بالاضافة الى الصدأ الذي يحدث في مواد الهيكل ومواد حاويات الوقود .

وتكون لجميع المفاعلات انظمة معاملة لغرض إزالة الفعالية من النفايات المشعة السائلة والغازية التي تنتج من التسرب خارج قلب المفاعل او نتيجة تنظيف وسيلة التبريد .

كما ان طرح النفايات المشعة ذات النشاط الاشعاعي الواطئ يتم تنظيمه ومراقبته وتعتمد كميات المواد المشعة المطروحة من المفاعلات على تصميم المفاعلات وعلى محطة معاملة النفايات المستعملة .

والمواد المشعة المطروحة الي الجو تتكون من الغازات النبيلة الناتجة من عملية الانشطار مثل غازي الكربتون والزنون والغازات الناتجة عن عملية التنشيط مثل الكربون - 14 والنيتروجين - 16 والكبريت - 35 والارجون – 41 والتريتيوم واليود والجسيمات .

كما ان المواد المشعة السائلة التي تطلق الى البيئة المائية تشمل التريتوم ونواتج الانشطارونواتج التأكل المنشطه . غازات الانشطار النبيلة, يوجد علي الاقل تسعة نظائر مشعة للكربتون واحد عشر نظيراً مشعاللزنون تنتج من عملية الانشطار. ان لمعظم هذه النظائر عمر نصف قصير جدا (ثوان او دقائق) وتنحل قبل ان تنتقل بصورة ملموسة من الوقود .

تتحرر النفايات المشعة الغازية خلال عملية تنظيم التركيب الكيمياوي والتنقية لماء التبريد في الدورة الاولى والتي تحفظ تحت الضغط في خزانات بين 30-120 يوما لغرض انحلال العناصر المشعة القصيرة العمر. اما الغازات المشعة الاخرى فانها تنشأ من مكثف العادم الذي في دورة البخار ودورة التبريد الثانية وتهوية بناية المفاعل ومن ضمنها تنفيس الحاوية الحاجزة وفي الالات التوربينية وبناية التهوية المساعدة

يؤلف غاز الزينون -133 معظم هذه الغازات ويبلغ عمر النصف لهذا النظير المشع 5.3 يوم وهنالك نظائر اخرى تكون موجودة بصورة ملموسه مثل الزينون -135 ولكن عمر النصف له يبلغ 9.2 ساعة فقط , اما مفاعلات BWR فان طرح الغازات النبيلة المشعة لا يعتبر مهما ومع هذا فإن كميتها ونسبها تختلف بعضها عن بعض كثيرا وذلك لاختلاف زمن لاحتفاظ حسب نوع المفاعلات .

7.7غازات التنشيط

تطرح المفاعلات المبردة بالغاز غازات التنشيط بدل الغازات النبيلة بصوره عامة وغازات التنشيط هذه تنتج من التنشيط المباشر للاوكسجين الذي في ثاني اوكسيد الكربون مكونا غاز النايتروجين - 16 الذي يكون احد المصادر الرئيسة للاشعاع في محطات توليد القوى النووية حيث يعطي تعرضا خارجيا من مجال اشعة كاما حيث ان الفوتونات الناتجة من انحلاله لها طاقات Mev 6.1 و Mev 7.1 وكذلك غاز الارجون -41 الناتج من الارجون -40 المستقر .

ان المصدر الاساسي للارجون 41 في المفاعلات المبردة بالغاز هو تسرب غاز التبريد الي الجو حيث قد يبلغ المطروح منها في هذه الحاله 0.1^{-1}[GW(e)a] PBq وهناك عدد اخر من غازات التنشيط المطروحة من المفاعلات المبردة بالغاز مثل الكبريت - 34 الذي يتكون من الكبريت الذي في الكرافايت المكون لقلب المفاعل وهو ينتج كذلك من الكلور - 35 الذي يوجد بصفة شوائب.

7.7.4التريتيوم

يتولد التريتيوم من الانشطار الثلاثي في الوقود النووي ومن تفاعلات التنشيط النيوتروني مع نظائر الليثيوم و البورون المشعة التى تكون ذائبة وعلى تماس مع ماء التبريد في الدورة الاولي و الهايدوجين الثقيل لمفاعلات HWR يستعمل للتهدئة والتبريد .

وتبلغ كميات التريتيوم المقذوفة الى الجو من مفاعلات BWR المعدله 3.4^{-1}TBq[GW(e)a] اما مفاعلات LWR فان القيمة المقدره تبلغ TBq[GW(e)a630] وتقدر القيمة المعدلة لمفاعلات PWR

7.8^{-1}TBq[GW(e)a] اما النفايات المشعة السائلة فان متوسط المطروح المعدل لعدة سنوات يبلغ 1.4^{-1}TBq[GW(e)a] لمفاعلات PWR أو 38^{-1}TBq[GW(e)a] لمفاعلات PWR .

اما المفاعلات البرده بالغاز فإنها تطرح 25^{-1}TBq[GW(e)a] من التريتيوم معدلا سنوي ان اعلي تركيز للتريتيوم في النفايات المشعة السائله هو المطروح من مفاعلات HWR وبمتوسط مقداره 421^{-1}TBq[GW(e)a]

7.7.5الكربون -14

يعتبر ما يطرح من الكربون-14 مهما جدا وذلك لمعرفة نصفه الطويل 5730 سنه بالرغم من ان الكمية المطروحة تكون قليلة عادة .ان الكربون-14 يتكون في مفاعلات LWR من الاوكسجين -17 الذي في الوقود النووي ومن المهدىء ومن النايتروجين - 14 الذي يكون بصفة شوائب في الوقو د وكذلك بواسطة الانشطار الثلاثي . ان الكرافايت يكون المصدر الرئيس للكاربون - 14 في المفاعلات المبردة بالغاز والمهدئة بالكرافايت . ان انتاجه من ثاني اوكسيد الكربون المستعمل في التبريد يعطي اجزاء في المائة فقط من المجموع الكلي للمصادر الاخري المولده للكربون -14 كما ان الكمية المطروحه من الكربون - 14 لمفاعلات LwR تقدر بـ 1.9^{-1}[GW(e)a]TBq وهو ينتج عن طريق التسرب من دورة التبريد الاولي التي تحوى فعاليه تطرح الى الغاز المبرد نتيجه تأكل المهدىء (الكرافايت) وتقدر الكمية المطروحه من الكربون -14 من مفاعلات الماء الثقيل المعدل10^{-1}[GW(e)a]TBq.

7.7.6اليود

ينتج عنصر اليود المتطاير بفعل عملية الانشطار والكمية المنتجة لا تعتما فيما اذا كان اليورانيوم او البلوتونيوم يستعمل بصفة وقود . ان نظائر اليود المشعة المهمة من ناحية الوقاية من الاشعاع هي اليود - 129 حيث يكون عمر النصف له سنة واليود - 131 الذي يكون عمر النصف له 8.05 يوم واليود -132 الذي يكون عمر النصف له 2.3 ساعة واليود -133(بعمر نصف مقداره نصف ساعة واليود-134 بعمر نصف مقداره 53 دقيقة واليود - 135 الذي يبلغ عمر النصف له 6.7 ساعة . ونظرا لعمر النصف القصير لنظائر اليود المشعة ما عدا اليود - 129 فان الفعاليات تكون في حالة توازن بسرعة ويعتمد المطروح على عدد العيوب في الوقود ومعدل تسرب وسط التبريد

واليود - 131 مهم جدا وذلك لسرعة انتقاله في البيئة وتأثيره المتخصص على الغدة الدرقية . هنالك اختلافات واسعة بين الكميات المطروحة الي الجو من نظائر اليود وحتي المكونات من هذه النظائر لما هو مطروح وذلك لاختلاف طرائق معاملة النفايات . ان الكمية السنوية المطروحة من اليود لمفاعلات PWR تبلغ 5 $^{-1}$[GW()a] GBq بينما يبلغ المطروح لمفاعلات BWR تبلغ 410 $^{-1}$[GW(e)a] GBq ومفاعلات

LWR مقداره 3.1[GW(e)a]$^{-1}$ GWq في الولايات المتحدة الامريكية للسنوات 1975-1979

وتعتمد كمية اليود المطروحة اعتمادا كبيرا على نوع المنظومة المستخدمه في التشريح .

7.8الجسيمات في النفايات المشعة المنبعثة في الهواء

تنتج الجسيمات الفعالة بصورة مباشرة من انحلال الغازات النبيلة او ربما تنتج من تآكل المواد في دورة التبريد الاولى ، ان الرذاذ الذري يتولد بفعل التسرب الذي يحدث فى دورة التبريد الاولى الفعالة .

ان الهواء الذي في المناطق التي يحتمل ان يتولد فيها الرذاذ الذري ينظف بصورة مستمرة حيث تحجز الفعالية على مرشحات ذات كفاءة عالية للجسيمات حيث تقوم هذه المرشحات بحجز كافة الجسيمات ماعدا جسيمات الرذاذ الذري الصغيرة جدا . كما ان ما هو مطروح من الجسيمات الفعالة قليل جدا ويكون تركيب المطروح من النظائر المشعة صفة من صفات المنشأة النووية الخاصة اذ انه يعتمد على الشوائب التي في الحاويات وفي مواد الهيكل وكيمياء وسط التبريد والطرائق التي يحدث فيها الخلل في الوقود وتختلف الكميات المطروحة كذلك بين وقت واخر وذلك لاختلاف طرائق التشغيل والإدامة . وقد يكون عدد النظائر المشعة المطروحة كبيرا جدا نتيجة للعوامل التي ذكرت اعلاه .

ان ايجاد معدل تركيز النظائر المشعة التى فى الجسيمات المطروحة من قبل المفاعلات النووية صعب بالاضافة الى انه لا يعني الشيء الكثير. ان النتائج والدراسات المنشورة لا تدل على ان اي نظير مشع قد يسود على بقية النظائر المشعة في اي مفاعل ان المعدل للجسيمات المطروحة و لمفاعلات BWR الى الجو يبلغ 2.2)] GBq GW (e)a]$^{-1}$ ولمفاعلات BWR الى الجو يبلغ 52.7 $^{-}$[GW (e)a GBq[(والجسيمات الفعالة من مفاعلات GCR يبلغ1.0 $^{-1}$[GW (e)a] GBq [1 بينما قد بلغت هذه الجسيمات0.044 $^{-1}$[GW (e)a] GBq لمفعلات HWR وللمفاعلات السريعة من نوع فينكس (fast rector phenix) مقدار 4.8[GW (e)a]$^{-1}$ MBq

7.9النفايات المشعه السائلة

ان مصادر النظائر المشعة فى النفايات المشعة السائلة ما عدا التريتيوم هى نفسها التى ذكرت للجسيمات الفعالة التى تطرح الى الجو ولها نفس الاختلافات من حيث الكمية والتركيب كما ان كمية وتركيب النفايات المشعة يعتمد على تصميم المفاعل وعلى طرائق تشغيله وكذلك على الشوائب التى فى محتويات ويكل حاويات الوقود . وتبلغ النفايات المشعة المعدلة المطروحة المبنية على النفايات المطروحة لكل نوع من المفاعلات باستعمال معدل انتاج الطاقة الكهربية لعدة سنوات

PWR: 190 GBq [GW (e)a]$^{-1}$

BWR: 309 GBq [GW (e)a)$^{-1}$

GCR: 4767 GBq [GW (e)a]$^{-1}$

HWR: 475 GBq [GW (e)a]$^{-1}$

لقد وجد في بعض مفاعلات PWR و BWRان السيزيوم- 137 كان يمثل 35% و السيزيوم 134 - يمثل 10 % من مجوع النفايات المشعة السائلة المطروحة بينما قد تبلغ نسبة السيزيوم نحو 70 % من الفعالية التي في النفايات المشعة السائلة المطروحه من مفاعلاتGCR. اما بالنسبة الى مفاعلات LWR فان النفايات المشعة السائلة تحتوي على عدد من النظائر المشعة التي تساهم بالباقي مثل الكوبلت - 60 والكوبلت-58 حيث يكونان 65% من الفعالية في مفاعلات PWR بينما نظائر اليود المشعة تكون نسبة 6% . اما مفاعلات BWR فان نظائر الكوبلت تساهم بنحو 10% من الفعالية التي في النفايات السائلة واليود 5% في النفايات المشعة المطروحة سنويا .

ان طرح اليود - 131 في النفايات المشعة السائلة يبلغ نحو 4.7Gpq[GW(e)a]$^{-1}$ لمفاعلات BWR اما مفاعلات PWR فان فعالية اليود كانت بمعدل 4.6Gpq[GW(e)a]$^{-1}$ كما ان اليود - 131 المطروح مع النفايات المشعة السائلة يساوي بالمقارنة بما هو مطروح في الجو في مفاعلات BWR والبالغ 42Gpq[GW(e)a]$^{-1}$ و 1.9Gpq[GW(e)a]$^{-1}$ لمفاعلات PWR بينما يبلغ معدل طرح بقية نظائر اليود في النفايات المشعة السائلة 3 Gpq[GW(e)a]$^{-1}$ لليود - 133 واليود - 135 في مفاعلات BWR هنالك اختلاف واسع لنواتج التنشيط ونواتج الانشطار الذي في النفايات المشعة السائلة وتختلف النتائج من مفاعل الى اخر وتدل

الظواهر علي ان واحدا او اثنين من النظائر المشعة تكون موجوده باستمرار في النفايات المشعة السائلة المطروحة من مفاعلات LWR ومنها الصوديوم - 24 الذي يوجد كذلك في النفايات المشعة السائلة المطروحة من مفاعلات BWR و PWR بالاضافه الي الكوبلت -59 الذي يكون موجودا وبتركيز مساو او اعلي من تركيز الكوبلت -60 في النفايات المشعه السائله المطروحه.

7.10المواد المشعة الناتجة من استخلاص الوقود

يتم استخلاص عناصر اليورانيوم والبلوتونيوم من الوقود النووي ويستعمل مرة اخرى في مفاعلات الانشطار. ان مادة الوقود المستنفذ تخزن تحت الماء الذي يكون بصفة درع واقى للاشعاع ويستفاد منه كذاك للتبريد . ان مادة الوقود تترك حتي تضمحل جميع النظائر المشعة قصيرة العمر الى كميات غير مهمة (عادة اقل من 20 يوما).

7.11النفايات المشعه الغازيه

ان تصميم وتشغيل منشآت استخلاص الوقود لا ينتج عنه اطلاق كميات كبيره من النويدات المشعه كما ان نواتج الانشطار الغازيه المتطايره مثل Cs و tc وRu وXe وKr وC و H_3 وI تكون مفصوله بصوره عن محاليل الوقود في مرحلة الاذابة والنويدات المشعة الرئيسة المهمة في نفايات منشآت استخلاص الوقود هي النويدات المشعة الطويلة العمر مثل والنظائر المشعة ما فوق اليورانيوم . ان كمية الفعالية المطلقة لا تعتمد فقط على نوعية المعاملة الخاصة للنفايات او طريقة المعاملة في معمل استخلاص الوقود بل تعتمد كذلك علي نوعية الوقود المستخلص وعلى ما جرى عليه اثناء التشعيع والخزن كزمن التبريد مثلا.

7.12الرذاذ المشع

يحوي الرذاذ المشع المطلق من معامل استخلاص الوقود عدداً قليل منالنويدات المشعه المطلقة لجسيمات الفا ولقد وجد في بعض هذه المعامل ان نظائر البرترنيوم تمثل الغالبية العظمى من هذه النويدات المشعة وفي معامل أخري بلغت نسبة 71% والبقيه كانت الامريسيوم -241والكوريوم-242 . كما ان ما يطلق من معامل استخلاص الوقود

من رزاز الفا المعدل يقدر 0.4 GBq[GW(e)a]$^{-1}$ وبالاضافة الى ذلك فان معامل استخلاص الوقود تطلق رذاذا يحوي نويدات مشعة مطلقه لجسيمات بيتا الذي يحوي بصورة رئيسية 0 السيزيوم - 137 والسنترونتيوم -90 وقد يحوي كذلك Cs-134, Ce-144,Ru-106

7.13النفايات المشعة السائلة

وتشمل هذه النفايات المشعة السائلة النويدات المشعة الناتجة من معامل استخلاص الوقود وتكون حاوية على فعالية الفا وفعالية بيتا والتريتيوم والسنترونتيوم - 90 والرثنيوم - 106 وهناك عدد كبير اخر من النويدات المشعة التي تظهر مع النفايات المشعة السائلة . وتعكس النفايات المشعة السائلة النظائر المشعة التي في الوقود فلذلك تتفاوت فعالية الفا وبيتا الى درجة كبيرة جدا من معمل لاخر حيث بلغت نسبة الرثينيوم - 106 في احد معامل استخلاص الوقود 65 %من مجموع فعالية بيتا و13% من السيزيوم -137 و 12% من السيريوم -144 و7.6% من السنترونتيوم -_ بينما كانت النسب مختلفة عن ذلك لمعمل استخلاص وقود اخر حيث كانت نحو 63% سيزيوم - 137 وسيزيوم -134 و 11% رثينيوم -106 و 8.3% سنترونتيوم-90والباقى يمثل نويدات مشعة اخرى.

7.14خزن وردم النفايات المشعه

يشكل الجزء الذي يطلق الي البيئة من المواد المشعة المتولدة من انتاج الطاقة الكهرونووية جزءا صغيرا فقط ماعدا اليورانيوم والبلوتونيوم ونويدات مشعة اخرى في الوقود المستعمل هذا وتعتبر النويدات المشعه المتولدة خلال مراحل انتاج الطاقة الكهرونووية نفايات يجب ان تخضع لمعامله خاصة مناسبة حيث يتوجب خزنها او ردمها.

ويعني الخزن اية ترتيبات نتمكن بواسطتها من استعمال النفايات مستقبلا حيث انه لربما يصعب تداولها لفترة موقتة ولكن مناك نية للاستعمال حيث يتم مراقبة هذه النفايات وتسجيلها.

اما الردم فيعني أنه لا تبقى هنالك اية سيطرة على النفايات المشعة .ومن المفيد التمييزبين النفايات المشعة ذات النشاط الاشعاعي العالي التي تنشأ على هيئة سوائل بعد استخلاص الوقود النووي والتي تكون حاوية على اكثر في 99%من نواتج الانشطار والاكتنيدات التي في الوقود وبين النفايات المشعة المتوسطة النشاط الاشعاعي وبين النفايات المشعة الواطئة النشاط الاشعاعي التي تتولد عادة من استخلاص الوقود النووي ومن تشغيل المفاعلات والمثال على ذلك مواد التبادل الايوني المستعملة والمرشحات الهوائية ومرشحات السوائل وبعض المكونات داخل المفاعل مثل قضبان السيطرة والاجهزة والملابس والعدد الملوثة . وهناك مجموعة اخرى من النفايات المشعة وهي المواد الملوثة بالبلوتونيوم وهي نفايات مشعة ذات نشاط اشعاعي واطىء ولكن بسبب عمر النصف الطويل للنويدات المطلقة لجسيمات الفا التي في هذا النوع من النفايات فانها تعامل على انها نفايات مشعة متوسطة .

7.14.7 النفايات المشعه المنخفضة والمتوسطه النشاط الاشعاعي

تعتبر البقايا الناتجة عن طحن اليورانيوم مثالاً على النفايات المشعة الصلبة ذات النشاط الاشعاعي الواطئ والنفايات المشعة الصلبة ربما تعامل بالتكديس او الحرق لغرض تقليص الحجم قبل ان يتم خزنها او ردمها في الارض قرب السطح او في مواقع الدفن العميقة. ان معظم المواقع النووية تصمم لخزن النفايات المشعة الصلبة المتولدة نتيجة اشتغال المفاعل طيلة عمره وربما يعتمد الردم النهائى لهذه النفايات على القرار بالطريقة النهائية التي سوف تتبع لردم المفاعل نفسه

يكون طمر النفايات المشعة الصلبة ذات النشاط الاشعاعي الواطىء غير المعامله في حفر (Trenches) تغطى بالتربة وبصورة عامة فإن النفايات توضع كما تسلمت مجفورة في التربة وتستعمل الاتربة المزالة لتغطية النفايات بعد ان تملأ الحفر بالنفايات : المشعة وفي بعض الاحيان يجري تقليص الحجم الزائد للمساعدة في عملية ازالة الماء ومن المفضل ان تكون مواقع الردم في مناطق ذات كثافة سكانية قليلة وهي غالبا ما تكون مناطق شبه قاحلة وقد يتم الردم في البحر الا ان ذلك يتطلب التأكد من عدم انتشار التلوث بالمواد المشعة من خلال وضع المعايير وتحديد اساليب العمل والمراقبة .

7.14.8 النفايات المشعه العاليه النشاط الاشعاعي

يوجد معظم الوقود النووي المشعع الذي ازيل من المفاعلات مخزونا في الوقت الحاضر بانتظار قرارات الدول المعنية الخاصة بردمه بصورة مباشرة او استخلاصه وذلك لاستعمال النويدات القابلة للانشطار مرة اخرى وعند استخلاص الوقود فان النفايات العالية النشاط الاشعاعي تخزن حاليا على شكل سوائل . والغرض من ذلك هو جعلها صلبة مما يزيد من قابلية تداولها وخزنها او ردمها .

لقد قامت بعض الدول باتخاد القرار المناسب لها حول طريقة معاملة هذا النوع من النفايات ففي فرنسا مثلا اتخذ قرار لتحويلها الى مادة صلبه حيث انشى ء معمل لترجيجها في Marcoule عام 1978 حيث تحول النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي الى صفائح زجاجيه تخزن في منشآت مبردة . وتقوم دول اخرى باجراء التجارب والبحوث لغرض تصليب النفايات العالية النشاط الاشعاعي ولغرض حجب هذه النفايات في حاويات ولغرض ايجاد افضل مواقع للردم . كما ان طرائق الردم قد درست بصورة واسعة وهي تشمل الردم في التكوينات الجيولوجية العميقة او الردم تحت قعر المحيط وتجرى دراسات عالمية حديثة حول الابحاث اللازمة لغرض تقدير الردم في المحيط وهنالك دول متعددة تدرس الردم الجيولوجي اما في الاملاح او الصخور الصلبة مثل الكرانايت والبازالت وبالاضافة الي ذلك فانه توجد امكانية استعمال الصخور الرسوبية بصفة محلات الردم

والحواجز الاساسية التي تعوق عودة المواد المشعة الي البيئة هي هيئة النفايات المشعة وحاوياتها والححب الجيولوجي للنفايات بين التكوينات الصخرية عند الانتقال خلال الوسط الجيولوجي وانتشارها وتخفيفها في الوسط الحي.

ان طرح النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي من المحطات النووية لم يتم لحد الان حيث انه يوجد خزين مراقب فقط من قبل السلطاتالوطنية للدول المخلفه بانتظار قراراتها حول طرائق المعاملة . ان الردم في مناجم الاملاح قد يوفر طريقة جيدة ولكن النفايات تكون معرضة للمياه الجوفية الناتجة عن حالة الحوادث التي يفترض ان فرص حاوثها تبلغ واحد لكل مئة الف او مليون سنة . والتحليل المفصل لهذه الفرضيات يوضح ان متوسط زمن الوصول للنويدات المشعة ذات الاهميه من ناحية الوقاية من الاشعاع

مثل التكنيشيوم -99 واليود - 129والسيزيوم - 135 والاكتنيدات للمياه العذبة يبلغ عدة ملايين من السنين .

اما الردم في مقالع الصخور الصلبة فان الحاويات تكون على تماس مع الماء الذي تكون له سرعة جريان بطيئة . كما ان انتقال النويدات التي تذوب خلال المواد العازلة المحيطة بالحاويات سوف يحكم النفاذية التي تكون بطيئة للغاية ويتوقع حجب نويدات مشعة اكثر بواسطة التفاعلات الكيمياوية مع المادة العازله مع الصخور الموجودة .

مصادر اخرى للاشعاع ذات علاقة بانتاج الطاقة الكهرونووية ان المصادر الاخرى للاشعاع ذات العلاقة بانتاج الطاقة الكهرونووية هي نقل الوقود النووي المشعع وتشغيل منشآت البحوث النووية .

ينقل الوقود النووي غير المشع الي مواقع المحطات الكهرونووية من منشآت تصنيع الوقود وينقل الوقود المشعع من مواقع المفاعلات الي منشآت استحلاص الوقود او منشآت الخزن كما ان نقل المواد المشعة يخضع الي التشريعات الوطنية المستندة الي تعليمات الوكالة الدولية للطاقة الذرية . والشحنات قد تصل بواسطة السكك الحديدية والطرق البرية والطرق البحرية والجوية . ان عدد الشحنات والمسافة المقطوعة تختلف ال درجة كبيرة من بلد لآخر

7.15منشآت البحوث النوويه

ان جزءأ من النشاط الاشعاعي المطروح الى البيئة من منشآت البحوث النووية ربما يعزى الى المساعدة في استمرارية التشغيل او الى التطويرات المستقبلية للطاقة النووية ومع هذا فانه توجد فعاليات اخرى في المنشآت النووية مثل انتاج النظائر المشعة ومعاملتها وانوع البحوث الاخرى التي تكون مسؤولة عادة عن جزء كبير من النظائر المشعة المطروحة في الجو.

8مصادر الاشعاع الطبيعيه المصنعه

تنشأ هذه المصادر الاشعاعية نتيجة التصنيع الذي يحدث ومن امثلة ذلك استعمال الغاز الطبيعي للطبخ والتدفئة واستعمال الفحم لانتاج الطاقه من الممكن اعتبار الابنية مصادر اشعاع طبيعية مصنعة وذلك للمواد المشعه التي في المواد التي استعملت في انشائها .

8.1 توليد الطاقه من الفحم الحجري

يحوي الفحم الحجري كميات ضئيلة من المواد المشعة الطبيعية التي في قشرة الارض ولهذا فان احتراق الفحم يؤدي الى تحرك بعض المواد المشعه الطبيعية في البيئة وفي اعادة توزيع المواد المشعة الطبيعية من باطن الارض الى مناطق مما يؤدي الى تغييرحقول الاشعاع الطبيعي ومن هذه النظائر المشعة البوتاسيوم - 40 واليورانيوم - 238والراديوم -226 والرصاص - 210والثوريوم - 232 والراديوم - 228 وهي تكون مصاحبة للرماد الطائر

8.2انتاج الطاقة الحرارية الجيولوجية

تنتج هذه الطاقة في عدد من بلدان العالم ومنها ايسلندا وايطاليا واليابان ونيوزيلندا والولايات المتحدة الامريكية والاتحاد السوفيتي .وهي تشمل المياه الحارة الملامسة للصخور داخل الارض . ان هذه المياه تكون حاوية بعض النويدات المشعة الطبيعية مثل الرادون - 222 .

المحاضرة السابعة

8.3استغلال الصخور الفوسفاتيه

تستخدم الصخور الفوسفاتيه بصوره رئيسيه كمصدر للفسفور في الاسمده الفوسفاتيه .كما ان خامات صخور الفوسفات الرسوبية تحوي تراكيز عاليه من اليورانيوم بينما تكون الخامات البركانية حاوية تراكيز قليلة من اليورانيوم .

ان تعدين ومعاملة الخامات الفوسفاتية سوف يؤدي الى اعادة توزيع اليورانيوم - 238 ونواتج انحلاله على عدة منتوجات تكون مصادر اشعاعيه ونواتج ثانوية ونفايات للصناعات الفوسفاتية . تكون النفايات المشعة السائله مصدرأ مهما للاشعاع كما ان الاسمدة الفوسفاتية تعتبركذلك مصدرأ للاشعاع عند استعمالها كاسمده في الزراعة . وبالاضافة الي ذلك فان النواتج العرضية قد تستعمل في صناعات الابنية وتكون مصدرا اشعاعيا فيها.

8.3.1مصادر الاشعاع فى النفايات المشعه الناتجه من معامل معاملة الصخور الفوسفاتيه

يأتي الجزء الرئيس من المواد المشعة المتحررة في الهواء على شكل مسحوق ناعم للصخور ينتج من عمليتي التجفيف والطحن ولقد قدر ان ما يقارب من 100 بكريل من اليورانيوم - 238 يتم اطلاقه مقابل كل طن من الفوسفات المعاملة تستعمل المناطق المستنفدة بعد التعدين بركا لردم النفايات الناتجة من عملية التعدين

8.3.2المصادر الاشعاعيه الناتجه عن الستخدام الاسمده الفوسفاتيه

ان اضافة السماد الى التربة يعتمد على نوع التربة ونوع الحاصل المزروع فيها كما ان تركيز النويدات المشعة الطبيعية التي في الاسمده الفوسفاتيه يختلف من دولة الى دولة اخرى حيث ان معظم الاسمدة مشتقة من خامات الفوسفات ويعزى الاختلاف الناتج الى اختلاف مناطق المواد الاوليه حيث يتوقع وجود تراكيز عالية من اليورايوم - 238 عندما تكون الفوسفات رسوبية بينما تكون هنالك تراكيز قليلة منه في الالصخور البركانيه تكون الاسمدة الفوسفاتية مصدرا للاشعاع لعدد محدد من العاملين في انتاجها ونقلها وخزنها واستعمال الصخور والاسمدة الفوسفاتية .

ان اضافة الاسمدة الفوسفاتية الي التربة يضيف فعالية لها وقد تبلغ هذه الفعالية 17 بكريل من اليووانيوم -238 للمتر المربع و 11 بكريل للمتر المربع من الراديوم -226 و 704 بكريل للمتر المربع من الثوريوم -232. و 150 بكريل للمترالمربع من البوتاسيوم -40 .

ومن المتوقع ان يزيد تركيز سلسلة اليورانيوم -238 في محاصيل الاغذية نتيجة تسميد التربة بالاسمدة الفوسفاتية ومن المتوقع ايضا ان تتلوث الاغذية كثيرا نتيجة اضافة الاسمدة بصورة سائلة الى سطح التربة او من المنتجات الفوسفاتية التي تستعمل لتغذية الحيوانات .

ان بعض المنتجات الفوسفاتية تستخدم مصدراً للفسفور في اعلاف الحيوانات مما يسبب زيادة تركيز الفعالية لبعض النويدات المشعة مثل الراديوم -226 في المنتجات الحيوانية مثل الحليب الذي دلت بعض الدراسات على وصول تركيزه ال نحو 25 بكريل في المتر المكعب بينما يقدر التركيز في الحليب الطبيعي بين 3-10 بكريل للمتر المكعب .

8.3.3مصادر الاشعاع الناتجة عن استخدام النواتج المرضية والنفايات

يكون الناتج العرضي الرئيس لمعاملة خامات الفوسفات في معامل انتاج حامض الفسفوريك هو الجبس او فوسفات الجبس وسلكات الكالسيوم الطينية ان هذه النواتج الثانوية تصبح مصادر اشعاعية اذا استعملت في مواد البناء بالاضافه البالسكن في الاراضي التي انجز تعدين الفوسفات فيها وسمح للسكن بها .

كما ان معظم الراديوم -226 الذي في خامات الفوسفات يذهب الى الجبس الفوسفاتي حيث يبلغ تركيز فعالية الراديوم -226 فيه 900بكريل لكل كيلو جرام. والجبس الفوسفاتي يمكن ان يعوض عن الجبس الطبيعي في صناعات البناء لعمل البلوكات والالواح والحواجز وكذلك الاسمنت وكتل البناء مما يشكل مصدرا اشعاعيا لسكنة الابنية التي استعملت هذه المواد في انشائها .

تحوي سلكات الكالسيوم عادة على تراكيز للنويدات المشعة الطبيعية مثل اليورانيوم -238 وقد تستعمل في صناعة قضبان السكك الحديدية والاسفلت والكونكريت وبعض الاستعمالات الاخرى كتبليط الطرق والممرات مما يجعلها مصادر اشعاعية لتعرض العاملين ومن لهم تماس مع هذه المواد .

8.4مصادر الاشعاع في السلع الاستهلاكيه

من الممكن تقسيم المنتجات الاستهلاكيه التي تحتوي علـي مـواد مشـعه الـي حمسـة اقسام بصوره عامه وهي:

8.5الاجهزه ذات الارقام المضيئه

يستعمل الراديوم -226 والبروميثيوم -147 والتريتيوم بصوره كبيره في صـناعة اصباغ الارقام لغرض اضائة اجهزة قياس الزمن حيث يحول الاشعاع المنبعث الي ضوء كما ان اكثر السـاعات اليدويـه تكـون حاويـه التريتيـوم بينمـا يسـتعمل البروميثيـوم-147 والراديوم-226 اكثر من التريتيوم في الساعات المنضديه.

ان فعاليات التريتيوم والبرميثيوم-147 التي تنتج نفس الضوء المتوهج التي تنتجها KBq37 مـن الـرادون -226 تقـدر بـــ TBq200 مـن التريتيـوم و TBq6 مـن البروميثيوم -147 للساعات المصنوعه حديثا ونتيجـه لظـاهرة الانحـلال الاشـعاعي فـان التوهج يقل نتيجة تلف المادة المتلالئه خلال العمر الذي تستعمل فيه الساعه كما ان انتـاج الساعات الحاويه علي الراديوم -226 قد توقف في بلدان متعدده .

ان معظـم السـاعات المضـية لـيلا المسـتعملة حاليـا مطليـة بـالتريتيوم اذ ان معـدل التريتيـوم فـي هـذه السـاعات يبلـغ MBq37 للسـاعات اليدويـة وMBq60 للسـاعات المنضدية . وتستعمل المواد الوهاجة كذلك في العلامات وارقام التلفونات .

8.5.4الاجهزه الكهربائيه والالكترونيه

تحوي بعص مانعـات الكهربائيـة المسـتقرة عناصـر مشـعة وتسـتعمل هـذه المـواد بصورة واسعة في الصناعة لتخفيف الشحنة الكهربائية المتجمعة على بعض المواد حيـث يقوم الأشعاع بتايين الهواء الملامس للاجسام المشحونة وبهذا يسمح للشحنة بان تعـادل . ان موانع الكهربائية المستقرة التي يستخدم فيها البولونيوم - 210 قد تصنع وتسوق لعامة الناس حيث تستعمل لازالة الغبار من المواد المختلفة ويحوي كل واحد من هـذه المانعـات نحو MPq20 للبولونيـوم -210 هنالـك مـواد اسـتهلاكية لا تحتـوي علـى مـوادا مشـعة

ولكنها تبعث الاشعة السينيه وذلك بسبب تعجيل الالكترونات ومثال شائع على ذلك هو اجهزة التلفزيون وكواشف الامتعه وغيرها .

8.5.5كواشف الدخان

ان النظير المشع المفضل لهذه الكواشف هو الامريسيوم -241 وهنالك كواشف حريق تحوي مصادر مشعة مختلفة اخرى مثل الراديوم-226 والبلوتونيوم - 238 والكربتون - 87 والنيكل - 63 كماان هذه الكواشف تستعمل بكثرة في الابنية الاقتصادية والتجارية والمحلات العامه وفي بعض البيوت كذلك .

ويبلغ النشاط الاشعاعي ،الذي في كاشفة الحريق الحاوية على الامريسيوم -241 TBq1.5

8.5.6السيراميك والاداوات الزجاجيه

يكون استعمال اليورانيوم في المنتجات الاستهلاكية اما للون او لكثافته العالية . كما ان الثوريوم يستعمل في بعض انواع الاوعية وفي بعض العدسات الضوئية . تحوي بعض العدسات الضوئية على نحو30% بالوزن من اليورانيوم والثوريوم وبالاضافة الي ذلك فان بعض زجاج العاسات يحوي على تراكيز عالية من اليورانيوم والثوريوم نتيجة طبيعية لصنع الزجاج ولقد وضعت حدود طوعية في الولايات المتحدة الامريكية لهذا النوع من الزجاج وهي 0.5 بكريل لكل جراملنشاط الاشعاعي المنبعث من زجاج العدسات حداً اقصي للنظائر المشعة اكتنيوم -228 والرصاص – 212 والرصاص – 214 كما ان اليورانيوم يستعمل كذلك في الخزف المستعمل في صناعة وعلاج الاسنان . ان مركبات اليورانيوم والسيريوم تستعمل في معظم المواد الخزفية وذلك لاعطاء نفس اللمعان للاسنان الطبيعية . وتحدد كثير من الدول كمية اليورانيوم التي يسمح باستعمالها في مسحوق الخزف والاسنان الاصطناعية بنسب تتراوح بين 0.05- 0.1%.

قياس الجرعات الاشعاعيه Dosimetry

يعتمد التاثير الحيوي والفيزيائي والكيميائي للاشعاع علي كمية ونوع وطبيعة وكذلك طاقة الاشعاع الممتص بواسطة الماده . ومن هنا فان تاثير الاشعاع علي الماده يعتمد علي عاملين :

أ – طاقة الاشعاع الممتص وهذا ما يعبر عنه بالجرعه Dose والتي نعني بها الطاقة الممتصه بواسطة وحدة لكتله من الماده المعرضه للاشعاع .

ب – طبيعة الماده المعرضه للاشعاع وكمية الاشعاع نفسه , وهذا ما يعبر عنه بالتاثير الحيوي النسبي للاشعاع Relative Biological Effect

وسوف نعرض هنا نوعين من الجرعات :

1) جرعة التعرض Exposure dose

وهذه تعتمد علي كمية الاشعاع الساقط علي الماده وتقاس بالرونتجن (R)

2) جرعة الامتصاص Absorbed dose

وهي كمية الطاقة الممتصه بواسطة وحدة الكتل من الماده عند تعرضها للاشعاع وتقاس بالراد أي ان :

$$\text{الجرعة الممتصة } (D_a) = \frac{\text{الطاقة الممتصه بواسطة المادة } (\Delta E)}{\text{كتلة المادة الماده } (\Delta m)} \qquad (1)$$

وبالتالي فإنه يمكننا القول بان الجرعة الممتصه تساوي التغير المشاهد في طاقة الاشعاع لوحة الكتله من الماده المعرضه له عند اختراق هذا الاشعاع للماده , وحيث إن تعيين هذه الجرعه مهم جداً في قياسات الاشعاع والفيزياء الصحيه فقد تم نصميم الكثير من الاجهزه لقياس هذه الكميه اطلق عليها اسم مقاييس الجرعات .

8.6 الروتنجن (R)

يبني تعريف الروتنجن علي التأين الناتج للهواء بفعل الالكترونيات المنطلقه نتيجة لتفاعل الفوتون مع الهواء , وبنطبق هذا التعريف فقط علي اشعاعي γ , X

وبالتالي يمكن تعريف الروتنجن علي انه كمية أشعة x او اشعة γ التي تنتج وحدة شحنة كهروستاتيكيه / 0.001293 جرام من الهواء (أو 1 سم^3 من الهواء عندل معدل الضغط ودرجة الحرارة الطبيعيين) وبصوره اخري فإن :

$$\mathrm{IR} = 2.58 \times 10^{-4} \mathrm{C/Kg}$$

ويمكن حساب كمية الطاقة الممتصه عند التعرض لروتنجن واحد , وذلك اذا كان الوسط هو الهواء. فمن المعروف ان طاقة التاين للهواء تساوي 33.7 أ . ف . وحيث ان وحدة الشحن الكهروستاتيكيه تساوي 4.8×10^{-10} فإن التعرض لرونتج واحد يؤدي الي امتصاص كميه من الطاقه تعطي بالعلاقه :

$$\mathrm{IR} \rightarrow \frac{33.7}{4.8\times10^{-10}} ev/Cm^3 \cong 7.1\times10^4 MeV/Cm^3$$

$$= \frac{33.7\times1.6\times10^{-12}}{4.8\times10^{-10}} = 0.108 erg/Cm^3$$

$$(2) = \frac{0.108}{0.001293} = 87 erg/g = 0.87\times10^{-2} j/kg$$

8.7 الراد rad

هو وحدة قياس الجرعة الممتصه ويعرف كما يلي :

هو كمية الاشعاع التي تؤدي لامتصاص 100 إرج من الطاقه بواسطة جرام واحد من المادة المعرضه لهذا الاشعاع . أي ان :

$$1\ \mathrm{Rad} = 100\ \ \mathrm{erg/g}$$

$$= 10^{-2}\ \ \mathrm{j/kg} \qquad (3)$$

لاحظ انه عند استخدام هذه الوحدة يجب تحديد نوع الماده المعرضه للاشعاع وسوف يعتبر الراد هنا معدلاً لجرعة الراد الممتصه بواسطة النسيج اللين الذي يتكون من 75% اكسجين , 12% كربون , 10% هيدروجين , 4% نيتروجين (هذه النسب نسب وزنية)

تبين المعادلات السابقه (2,3) ان تعرض الهواء لرونتجن واحد يؤدي لامتصاص كمية من الطاقه قدرها 0.87 راد .

أما إذا كان الوسط المتص للاشعاع هو الماء فقد وجدرونتجا واحداً يؤدي الي امتصاص كميه من الطاقه قدرها 0.97 راد (وذلك عندما يكون الاشعاع هو اشعة X, γ وبطاقه قدرها 1 م.أ.ف)

وحيث ان النسيج الحي يمكن اعتباره كالماء من حيث طبيعة التكوين فإنه يمكن القول بان التعرض رونتن واحد يؤدي إلي امتصاص واحد راد تقريباً ,اما بالنسبة للعظام فقد وجد ان التعرض إل رونتجن واحد (وبطاقة قدرها 30 ك . أ .ف)
يؤدي الي امتصاص جرعه قدرها 4.32 راد

تعرف وحدة الجرعة الممتصه في النظام العالمي للوحدات (SI) بالجراي حيث :

I GY=100red=1 j/kg (3)

8.8حساب الجرعات الاشعاعيه:

لنفترض ان لدينا مصدرا مشعا يعطي فيضا من الفوتونات عند نقطه معينه قدره Ø فوتون /سم^2 ولنفترض ان طاقة الفوتون الواد تساوي E_γ وتكون الطاقه المحموله بهذه الفوتونات تساوي $ØE_\gamma$

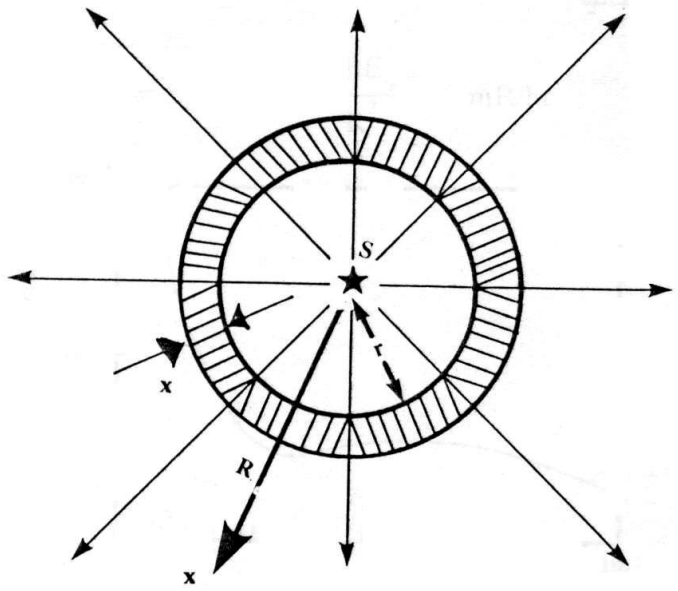
ويعطي معدل امتصاص الطاقه بالمقدار

$E_\gamma \mu_a$ mev/Cm^3 s

حيث μ_a هو معامل الامتصاص الخطي ويساوي معامل الاضعاف الكلي مطروحاً منه معامل كمبتون فإذا كان الوسط الممتص هو الهواء فإن الجرعة الممتصه DR تعطي بالعلاقه

(4) $DR= Ø E_\gamma \mu_a / 7.1X10^4$ R/S

حيث ان التعرض لرونتجن واحد يؤدي الي امتصاص كميه من الطاقه قدرها $7.1X10^4$ Mev/cm^3 بواسطة الهواء



شكل رقم (1) قانوني التربيع العكسي والامتصاص للإشعاع

فإذا كان لدينا مصدر نقطي (S) فعاليته A (كوري) يبعث إشعاعاته بانتظام في جميع الاتجاهات . أي على سطح كرة مساحته $4\pi r^2$ حيث r هو نصف قطر الكرة. وهو بعد نقطة القياس عن المصدر. كما يوضح لك شكل رقم (1) فإن الفيض الذي يرسله المصدر علي بعد r منه يعطى بالعلاقة:

$$\phi = \frac{3.7 \times 10^{10} A}{4\pi r^2} \, photon/cm^2 \qquad (5)$$

وهذا هو قانون التربيع العكسي حيث ضربت الفعالية 10 3.7X10 لتعطي عدد الفوتونات المنطلقة / ثانية. لاحظ أن الفيض Ø هو عدد الجسيمات المنطلقة2سم /ث فإذا ما وضع جسم سمكه X ومعامل امتصاصه μ بين المصدر ونقطة القياسشكل (فإن الفيض يعطى بالعلاقة.

$Ø = Ø_0 e^{-\mu x}$

حيث $Ø_0$ هي الفيض قبل وضع الماده الممتصه في حالة الأشعة غير الضيقة فإننا يجب أن نأخذ في الاعتبار عامل التراكم (انظر تفاعل الاشعه مع الماده) والذي يرمز له بالرمز (B) وهو دالة في معامل الامتصاص (μ) مسافة القياس (r) وينتج ان :

$$Ø \quad (6) = Ø_0 B(\mu r)e^{-\mu x}$$

وبمكن أن بعطى B بالعلاقه

$$(7) \qquad B(\mu r) = 1+a\mu r$$

حيث a هي قيمة تعتمد علي كل من طاقه الاشعاع (E) وطبيعة المادة الممتصه , وينتج أن Ø علي بعد R من المصدر شكل (1) تعطي بالعلاقه

$$(8) \quad \phi = \frac{3.7\times10^{10}}{4\pi R^2} ABe^{-\mu x}$$

وينتج أن الجرعة الممتصة DR تعطى بالعلاقة :

$$(9) \qquad DR = \frac{3.7\times10^{10}}{4\pi R^2} ABE_\gamma \mu_a e^{-\mu x} MeV/CM^3.S$$

A هي فعالية المصدر بالكوري

E_γ(Ci) هي طاقة الإشعاع بوحدات م .أ . ف (Mev) إذا كان الوسط الفاصل هو الهواء($e^{-\mu x} = 1$ عندما x تساوي بضعة امتار) فإن جرعة الامتصاص ، معادلة (9)، تعطى بالعلاقة:

$$(10) \quad DR = \frac{3.7\times10^{10} ABE_\gamma \mu_a}{4\pi R^2} MeV/CM^3.S$$

وتعطي بالرونتجن / ث (باستخدام معادلة (4) حيث

$$DR = \frac{3.7\times10^{10}\, ABE_{\gamma}\mu_{a}}{7.1\times10^{4}\times 4\pi R^{2}}\, RS$$

$$= 4.146\times10^{4}\,\frac{\mathrm{ABE}_{\gamma}\mu_{\mathrm{a}}}{\mathrm{R}^{2}}\,\mathrm{R/S} \qquad (11)$$

ومن المناسب التعبير عن هذه الجرعه بوحدة ميللي رونتجن/ساعه وينتج ان

$$DR = 1.51\times10^{11}\,\frac{ABE_{\gamma}\mu_{a}}{R^{2}}\, mR/hr \qquad (11)$$

حيث (μ_a) هي معامل الامتصاص الخطي للهواء (CM^{-1}) $3.7.3X10^{-5}$ وبالتالي يمكن كتابة معادلة (11) في الصوره الاتيه

$$DR = 5.2\times10^{6}\,\frac{ABE_{\gamma}}{R^{2}}\, mR/hr \qquad (12)$$

فاذا ما عبرنا عن المسافة R بالقدم (حيث 1ft = 30.5Cm) فانه يمكن كتابة المعادلة السابقة على الصورة:

$$DR \approx 6\times10^{3}\,\frac{ABE_{\gamma}}{f^{2}}\, mR/Hr \qquad (13)$$

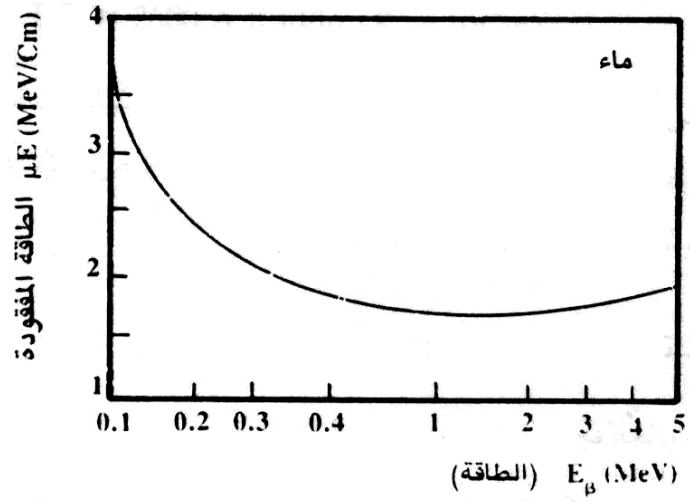
حيث : f هي المسافة بين المصدر ونقطة القياس معبرا عنها بالاقدام . واذا ما اخذنا الجرعة الان بالرونتجن بدلا من mR_{γ} ينتج ان:

$$DR \approx 6\,\frac{ABE_{\gamma}}{f^{2}}\, mR/Hr$$

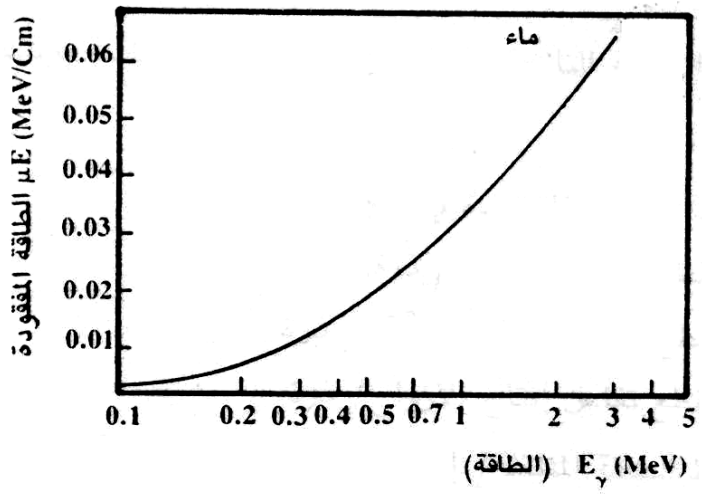
وعلى بعد قدره قدم واحد فان جرعة الامتصاص تؤدى الى العلاقة البسيطة :

$$DR \approx 6ABE_{\gamma} \quad mR/Hr \qquad (14)$$

يمكن ايجاد الطاقة المفقودة (Mev/Cm) كدالة في الطاقة (E) حيث يبين شكل(2) الطاقة المفقودة μE بواسطة جسيمات B اشعة γ في الماء.



شكل رقم (٣-١) الطاقة المفقودة بواسطة جسيمات β



شكل رقم (٣-2) الطاقة المفقودة بواسطة أشعة γ

وبمكن حساب الجرعة الممتصه فى الماء حيث نجد ان :

$$DR = \frac{3.7\times10^{10} ABE_{\gamma}\mu_a}{4\pi R^2} mev/g.s \quad (15)$$

حيث نعلم ان ا سم^3 من الماء يعادل ا جم من الماء ويمكن اختصار المعادلة السابقة في الصورة:

$$DR = x\frac{E_{\gamma}\mu_a}{R^2}$$

حيث :

$$X = \frac{3.7\times10^{10}}{4\pi} AB$$

حيث ان 1 rad = 100 erg/ g.

فانه بقليل من الحسابات يمكن استنتاج ان:

$$DR = 1.695\times10^5 \times \frac{ABE_{\gamma}\mu_a}{R^2} rad/hr$$

يبين قانون التربيع العكسي انه كلما صغرت قيمة Rفان قيمة الجرعة الممتصة تزداد حيث تصبح كبيرة جدا وتصل حد الخطر عند المسافات الصغيرة جدا. ولتوضيح ذلك دعنا نحسب قيمة الجرعة DR الناتجة عن اشعاع y الناتج عن نظير AU^{198} كمصدر فعاليته 1m.Ci

وذلك في الماء او النسيج الحي علي بعد قدره 30 Cm من المصدر. فاذا كانت طاقة اشعة y تساوي 0.4 م.ا.ف فانه $E_{\gamma}\mu_a$ تساوي0.013

انظرشكل وبتطبيق معادلة

$$DR = 1.695 \times 10^5 \times \frac{ABE_\gamma \mu_a}{R^2} rad / hr$$

ينتج ان:

$$DR = 1.695 \times 10^5 \times \frac{1 \times 10^{-3} \times 1 \times 0.013}{(30)^2} (B = 1)$$

=0.0024 Rad/hr

فاذا ما كان المصدر يطلق اشعاع B بالاضافة الى اشعاع y حيث تنطلق جسيمات B بطاقة قدرها 0.96م.ا.ف. $E_{\max}$ فان الطاقة المتوسطة (E) تساوي $\frac{1}{3}E_{\max}$ اي ان

$$E = 0.32mev$$

ومن الشكل (2) $E_b u = 2.18$ ويمتص الهواء جزءا من اشعةB يعطى باستخدام المعادلة حيث $E^{-\mu x} = 0.52$ وبالتالي يمكن حساب قيمة الجرعة الممتصة DR حيث نجد ان

$$\mathrm{DR} = 1.695 \times 10^5 \times \frac{1 \times 10^{-3} \times 1 \times 0.52 \times 2.18}{(30)^2} (\mathrm{B} = 1)$$

0.21 Rad/hr =

فاذا ما كانت R الان صغيرة جدا (وذلك عند لمس المصدر باصابع اليد) فلنضع هذه القيمة مساوية3mm وبالتعويض في العلاقة السابقة فان :

$$DR_{3mm} = 24Rad/hr$$

وذلك بالنسبة لاشعة γ اما بالنسبة لاشعة β فان $DR_{3mm} = 4000\,Rad/hr$ يوضح هذا المثال الخطر الكبير الذي يمكن ان يتعرض له الانسان عند لمسه للمصدر المشع باليد حيث سنجد فيما بعد ان الحد الاقصي المسموح به للتعرض للاشعاع هو 5 راد في السنة .

ويمكن استنتاج علاقة بسيطة لجرعة التعرض لاشعاع B وذلك كمعادلة (14) وذلك باخذ المسافه R=10cm وبوضع $\mu E \approx 1.5$ يهمل تاثير امتصاص الهواء لجسيمات B ينتج ان $DR \approx 2600\,ARAD/hr$:

(R=10cm) سوف نستعرض في ما يلي الجرعات الممتصه بواسطة كتلة صغيرة من النسيج العضوي عند تعرضها لشعاع ضيق من الاشعاع ، وذلك عند معرفة الفيض الابتدائى

8.8.7الجرعات الناتجه عن اشعاع γ تعطى الجرعه بالعلاقه:

$$D_\gamma(E) = \sum_i \sigma_i N_i f_c + \sum_i \tau_i N_i f_p h + \sum_i k_i N_i f_{pp} \quad (16)$$

حيث $D_\gamma(E)$ هي الجرعة الناتجة عن فوتون واحد/ سم^2 مقاسه بوحدات م .ا.ف/جم N_i عدد ذرات العنصر الموجودة في ا جم من المادة σ_i . مساحة مقطع تشتت كمبتون / ذرة τ_i .مساحة مقطع التفاعل الكهروضوئي/ ذرة k_i . مساحة مقطع تفاعل انتاج الازواج / ذرة f_c . متوسط الطاقة المنتقلة / الكترون مرتد ناتج عن تشتت كمبتون f_{ph} . هو متوسط الطاقة المنتقلة الى الالكترون الناتج عن التفاعل الكهروضوئي f_{pp} هو متوسط الطاقة المنتقلة الى زوج الالكترونات (e^+, e^-)الناتج عن انتاج الازواج .ويمكن تعيين

المعاملات الثلاثة السابقة حيث نجد ان f_{pp} : نساوي Eحبمد Eهى طاقه الفوتون الساقط (م .أ.ف) أما f_{pp} فتعطي من العلاقه $f_{pp} = E - 2mc^2$:

$$f_{pp} = E - 1.02, \quad E > 1.02\text{Mev} \tag{17}$$

f_c تعطى بالعلاقة:

$$f_c = E\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_c} \tag{18}$$

حيث σ_{ca} هي مساحة مقطع تشتت كمبتون للطاقات الممتصه بواسطة الالكترون σ_c هي مساحة مقطع تشتت كمبتون الكلي

8.8.8الجرعات الناتجه عن النيوترونات

يمكن تقسيم هذه الجرعات حسب طاقة النيوترونات وذلك كما يلي:

1. عندما تساوي طاقة النيوترون اكبر من 20م.أ.ف فانها لا´تسبب تحللا او تحطيما للمادة النووية.

2. اذا وقعت طاقة النيوترون بين0.001, 20م.أ. ف . فان تفاعل النيوترون مع النسيج الحي يتم عن طريق التصادم المرن . (قد يحدث تصادم غير مرن ينتج عنه نيوترونات وذلك حسب التفاعل (n,2n) ولكن هذا التفاعل غير مهم بالنسبة للنسيج الحي.

3. تفقد الانوية المرتدة السريعة الناتجة عن التصادم المرن بين النيوترون والنسيج الحي طاقتها عن طريق التاين واثارة الجزيئات وذلك كما يحدث في حالة الالكترونات الثانوية الناتجة عن اشعة y بينما تفقد الانوية المرتدة البطيئة طاقتها عن طريق التصادمات الذرية ولكن تاثير هبذا التفاعل على

النسيج الحي صغيره نسبياً وقد بينا في ما سبق ان اقصي طاقة $E_{\max}$ يمكن ان تنتقل الى المادة نتيجة لتصادم النيوترون معها هي:

$$E_{\max} = E_0 \frac{4mM}{(m+M)^2} \quad (19)$$

حيث

E_0 هي طاقة النيوترون الساقط m,M هما كتلتا النواه المرتده والنيوترون ,علي الترتيب .

ويعطى متوسط جزء الطاقه (f) المنتقل الى النواه المرتدة بالعلاقة :

$$f = \frac{2mM}{(m+M)^2} \quad (20)$$

حيث تتراوح f بين 0.5(عند تصادم النيوترون مع الهيدروجين), 0.11 (عند تصادمه مع الاكسجين)

4. اما بالنسبة للنيوترونات السريعة فإن الجرعة المنتقلة الى النسيج الحي عند سقوط فيض من النيوترونات مقداره الوحدة هي $D_n(E)$ تعطى بالعلاقة :

$$D_n(E) = E\sum f_1 N_1 \sigma_1(E) \quad (21)$$

حيث E هي طاقة النيوترون وتقع بين 0.1، 20م.أ.ف F_i هي متوسط الطاقة التي يفقدها النيوترون / تصادم σ_i هي مساحة مقطع التصادم المرن N_i .هوعدد الذرات الموجودة في المادة / جم . وننذر D_n بوحدات م.أ.ف/ جم . وقد وجد ان 90-70% من الجرعة الكلية الممتصة بواسطة النسيج الحي تمتص عن طريق تصادم النيوترون مع البروتون

5. تعتبر النيوترونات الحرارية الناتجة عن تباطؤ النيوترونات السريعة في النسيج الحي (او المعرض لها النسيج نتيجة لمصدر خارجي للنيوترونات

الحرارية). في حالة اتزان اقوي مع جزيئات المادة الموجودة فيها. وتتحرك هذه النيوترونات حركة عشوائية محدثة عدة تصادمات قبل ان تمتص بواسطة الانوية الذرية . وهناك تفاعلان خطران ينتجان عن امتصاص النيوترونات الحرارية : وهما اللذان ينتج عنهما اشعاع γ او البروتونات.

ففي التفاعل H(n,y)D تبلغ طاقة اشعاع y الناتج 2.2م.أ.ف وتزداد أهمية هذا التفاعل وخطره كلما زادت كتلة النسيج الحي. اما عند تفاعل النيوترون مع النيتروجين فينطلق البروتون وفق التفاعل $^{14}_{C}(n.p)^{14}_{N}$ بطاقة قدرها 0.6 م.أ.ف وينتج عن امتصاص نيوترون واحد /سم امتصاص كمية من الطاقه قدرها 1.75×10^{-3} م.أ.ف /جم ويبلغ مدي النيوترون في هذه الحاله حوالي 10^{-3} جم /سم^2

8.8.9عامل التراكم (B) للنيوترونات السريعه

اذا سقط شعاع غير ضيق من النيوترونات على جسم ما وليكن عبارة عن كتلة ضخمة من النسيج اللين ذات سمك قدره 30cm مثلا . فانه يمكن تعريف عامل التراكم (B) على انه النسبة بين الجرعة عند السطح والجرعة الناتجة عن الشعاع الضيق أي ان ويبين الجدول التالي فيم عامل التراكم (B) لنيوترون سربع كدالة في طاقته . بوضح الجدول بان فبم (B) تظل ثابته تقريبا للطاقات الثلاث الاولى . ببنما نجد ان هناك زياده كببره فى هذه القيم عندما نساوي طاقة النيوترون 5ك .أ.ف. ويرجع ذلك الى تاثبر النيوترونات الحراريه .

جدول (1)عامل التراكم B لنيوترون سريع كدالة في طاقته

الطاقة E م.أ.ف	B
10	1.52
5	1.68
2.5	1.5
0.5	1.44
0.005	11.27

8.8.10 ثابت معدل التعرض للاشعاع او معامل K :

يطبق هذا الثابت على اشعة γ . ويمكن تعريف معامل K على انه جرعة الامتصاص الناتجة عن اشعاع γ مقدرة بالروتنجن R لكل ساعة من مصدر فعاليته كوري واحد موجود في الهواء وعلى بعد قدره متر واحد من المصدر. وبالتالي يمكن عن طريق معرفة Kحساب جرعة الامتصاص عند اية مسافة R من مصدر، ايـاً كانت فعاليته A

حيث $DR = KA/R^2$ (22)

حيثAهي الفعاليه بالكوري (Ci). Rهي البعد عن المصدر مقدراً بالامتار (m) ويبين جدول رقم (1) قيم المعامل k لبعض العناصر المشعة المستخدمة كثيرا في الطب الاشعاعى. ولان الشيء بالشيء يذكر فانه لا بد من بذل عناية ما لاشعاع الفرملة الناتج عن تفاعل جسيمات β مع المادة . فقد وجد ان الجرعة الممتصة الناتجة عن هذا الاشعاع تعطى بالعلاقه

$$DR = 1.7(Z+3)\frac{A}{R_2} \quad (23)$$

حيث Z العدد الذري للمادة المعرضة للاشعاع A . هي الفعالية مقدرة بالكوري R(Ci) هي المسافة عن المصدر المشع مقدرة بالسنتمترات (Cm)

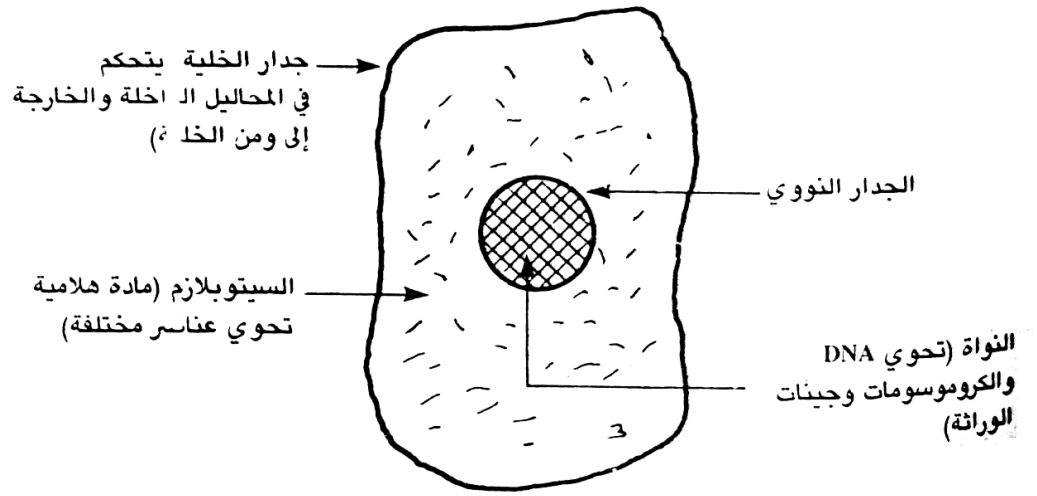
جدول (2) قيم K لبعض العناصر المشعه

العنصر	نصف العمر	k(R/hr/ci at 1 m)
Na-22	2.6y	1.2
Na-24	15hr	1.84
k-42	12.5hr	0.14
Sc-46	84d	1.09
Cr-51	27.8d	x-ray 0.73 γ -ray 0.016
Mn-52	5.7d	x-ray 0.54 γ -ray 1.85
Mn-54	291d	x-ray 0.72 γ -ray 0.74
Fe-59	45d	0.62
Co-58	71d	x-rays 0.50 γ-rays0.54
co-60	5.25y	1.32
zn-65	245d	x-rays0.50 γ -rays0.30
As-76	24.5hr	0.24
Br-82	36hr	1.56
Kr-85	10.6y	0.0021
Sb-123	60d	0.98
1-125	60d	x-rays0.50 γ -rays0.004
1-131	8.05d	0.22
1-132	2.26hr	1.2
Cs-134	2.2y	0.87
Cs-137	30y	0.33
Tm-170	127d	x-rays+ γ rays 0.0025
Ir-192	74.5d	0.48
au-198	2.7d	0.23
hg-203	47d	0.013
ra-226+ daughter	16020y	0.84
th-232+ daughter	1.4x10y	1.4
Am-241	457y	x-rays0.11 γ rays 0.016

التاثير الحيوي للاشعاع:

9تركيب الخليه الحيه

تتكون أجسام الكائنات الحيه والبشر من وحدات صغيره هي الخلايا وتتركب بدورها من نواة مركزية يحيط بها سائل يعرف بالسيتوبلازم الذي يحاط هو الاخر بغلاف هو جدار الخلية . أنظر شكل رقم (1) . ويمكن النظر الى السيتوبلازم عل انه مصنع الخليه الذي يقوم بهضم الطعام حيث يخوله الي طاقة جزيئات صغيره ثم تتحول هذه الجزيئات الصغيره الي جزيئات معقده تستخدم لعمليات اصلاح ما يعطب في الخليه او الانقسام , اما النواه فيمكن النظر اليها علي انها العقل المنظم والمسيطر علي سير العمليا فيها كما وتحتوي النواه علي الكروموسومات التي هي عباره عن تركيب خيطي يتكون من جينات الوراثه , وتحتوي الخليه البشريه عموما علي 46 كروموسوم وتتركب الجينات من حائض DNA (حمض دي اوكسيريبونيوكليك) وجزيئات برونين وتحمل هذه الجينات المعلومات التي تحدد خصائص الخلايا الوليده وتختلف اعمار الخلايا البشريه المختلفه حسب نوعها فبعضها يعيش عدة ساعات والاخري تعيش لعدة سنوات وتتكاثر الخلايا بطريقتين : الميتوسيس والميوسيس.



شكل رقم (1) تركيب الخلية البترية (رسم توضيحي)

9.1 الخلايا الميوتيكيه mitotic

وهي الخلايا العاديه فى جسم الانسان .وفي التكاثر الميتوسيس تنقسم الكروموسومات طولياً , وبذلك بتضاعف عددها وتتحول الخليه الواحده الى خليتين كل منهما تماثل الخليه الاصليه2 .) فى التكاثر الميوسيسى meiosis يتم انقسام الخليه بطريقة اخرى ويتم هذا التكاثر مرة واحدة في تاريخ حياة الخلية ويحدث في الخلايا الجنسية . مثل الحيوانات المنوية في الذكور والبويضة في الاناث . فعند التزاوج يلتقي الحيوان المنوي مع البويضة، ويتم الاخصاب حيث تتحد كروموسومات كل من الخليتين وتتكون مادة وراثية جديدة . (الجينات) تحمل صفات كل من الابوين . ثم تنمو البويضة المخصبة وتتحول الى الجنين embryo الذي ينمو ال كائن حي جديد

9.2 تفاعل الاشعاع مع الخليه:

يتعرض الانسان لضروب مختلفة من الاشعاع كالضوء والحرارة . ولكن تعرضه للاشعاع النووى تنتج عنه اثار خطيرة على صحته . والفرق الوحيد بين الاشعاع النووي والاشعة المعروفة كالضوء والحرارة في ان الاول ذا طاقة عالية كافية لتايين جزيئات المادة . ففي حالة تاين الماء - الذي يتركب معظم الخلية منه - تنتج تغيرات جزيئية وتكون مواد كيميائية جديدة قد تؤدي الى تخريب المادة الكروموسومية . ويؤدي ذلك الى تغيير في تركيب ووظيفة الخلية . عند تعرض مادة ما للاشعاع فإن الاشعاع يفقد طاقة تمتصها المادة المعرضه له مما قد يؤدي الى تأين المادة . وسوف نتحدث عما يمكن ان يحدث عندما تمتص هذه الطاقة بواسطة المادة وبصوره خاصه بواسطة النسيج الحي , وهنا نريد ان نفرق بين شيئين : جرعة الاشعاع وهي كميه الطاقه الكليه الممتصه ومعدل الجرعه وهو معدل امتصاص هذه الطاقه .

تحدث نتيجة لتعرض جسم الانسان للاشعاع مجموعة مختلفة من التاثيراتالمباشره وغير المباشرة . ولا تعتمد هذه التاثيرات فقط على التركيب الذري للماده التي امتصت الاشعاع ولكن ايضا على تركيبها الجزيئي والتكوين البلوري لها وطبيعة المادة المحيطة بها. قد يؤدي التاين الناتج للذرات والجزيئات الى تحطيم الروابط الكيميائية او تكوين اخرى جديدة . بينما تؤدي الطاقة الممتصة بواسطة جزيء معقد الى اثارة حالات اهتزازية او

دورانية عالية . كما قد يؤدي الارتفاع الناتج في درجة حرارة مجموعة من الجزيئات المعرضة للاشعاع الي زيادة ثانوية في معدلات تفاعلات كيميائية معينة او الى انتشارات جزيئية سريعة . كما لوحظ ان الكثير من التفاعلات ينتج عنها ذرات ثانوية تنشا نتيجة للتصادمات مع الذرات المرتدة عند تصادم الاشعاع معها وذلك في احداث التشتتات المختلفة. وفي حالات اخرى مثل تفاعلات اسر النيوترون قد تنتج ايونات ثقيلة ذات طاقات عالية تساهم في احداث تفاعلات مختلفة . ولكن يحدث غالباً فقدان لطاقة الاشعاع وامتصاصها بواسطة ذرات مادة الهدف وتحولها الى حرارة اي الي طاقة اهتزازية لتلك الذرات . مما ينتج عنه ائتلاف الكائن الحي وذلك اذا كانت الجرعة الممتصة كبيرة . وقد تحدث بعض هذه التاثيرات بعد عدة سنوات من التعرض للاشعاع . وقد تظهر كل التفاعلات السابقة على شكل اعراض سريرية كامراض الاشعاع اوالكاثراكتا او علي المدى البعيد قد تظهر بعض الاعراض السرطانية . كما ويمكن ان يحدث ايضا اتلاف للكروموسومات الوراثية تنتج عنه اثار وراثية . والتفاعلات التي تنتج عنها اعطاب اشعاعية هي تفاعلات معقدة ولكن يمكن ان تحدث على مراحل اربع هي:

9.2.1المرحلة الطبيعيه الابتدائيه :

وهنا تمتص الطاقه بواسطة الخليه وينتج التاين , ويستغرق ذلك فتره قصيره جداً حوالي 10^{-16} ثانيه , في حالة الماء يؤدي التاين الي تكوين ايونات موجبة وسالبه حسب المعادله

$$H_2o \xrightarrow{\text{الاشعاع}} H_2o^+ + e^-$$

9.2.2المرحلة الكيموفيزيائيه :

وهنا تتفاعل الايونات السابقه مع جزيئات الماء وتستغرق هذه العمليه 10^{-6}ثانيه وتنتج مواد جديده . وذلك وفق المعادلات التاليه :
تتحلل الايونات الموجبه حسب المعادله :

$$H_2o^+ \rightarrow H^+ + OH$$

بينما تلتصق الالكترونات بجزيئات الماء المتعادله والتي تتحلل بعد ذلك كما يلي:

$$\mathrm{H_2o + e^- \rightarrow H_2O^-}$$

$$\mathrm{H_2o^- \rightarrow H + OH^-}$$

مما سبق يتضح ان نواتج التفاعل هي OH^-, OH, H الايونات H^+, OH^- توجد في الماء تحت الظروف الطبيعية ولكن بنسبة قليلة . اما النواتج OH, H فهي مواد نشطة كيميائيا تحتوي على الكترون غير متزاوج مع الكترون اخر. وتسمى الراديكالات الحرة حيث ينتج غاز الهيدروجين H_2 من التحام ذرتي H,H كما ويمكن ان ينتج عامل مؤكسد قوي هو فوق اكسيد الهيدروجين H_2O_2 وفق التفاعل

$$\mathrm{OH + OH \rightarrow H_2O_2}$$

9.2.3المرحلة الكيميائية :

وتستمر عدة ثوان . وهنا يحدث تفاعل بين نواتج التفاعل وجزيئات الخلية الحية . وتهاجم الراديكالات الحرة والعوامل المؤكسدة الجزيئات المعقدة التي تكون الكروموسومات . فربما تلتصق مع هذه الجزيئات او تسبب تحطما لسلاسل الجزيئات . حيث نجد انه في حالة الاشعاع ذي التأين النوعى الصغير (كاشعاع y) فان المكونات الناتجة عن تحلل الماء (OH,H) اقرب الى بعضها البعض من النواتج OH,OHأوH,H الناتجة عن تحلل جزيئين من الماء. وينتج عن ذلك احتمال اعادة الالتحام لهذه المكونات (لتكوين الماء)/ يكون كبيرا . اما في حالة الاشعاع الذي يتمتع بتاين نوعي كبير (كاشعاع α) فان احتمال اعادة الالتحام يكون اصغر من سابقه حيث

يتولد غاز الهيدروجين H_2 ، و فوق اكسيد الهيدروجين H_2O_2 . ونتيجة لتولد مثل هذه المواد داخل جسم الخلية فان ذلك يؤدي الى اتلاف المادة الحية فيها أو الجزيئات الحساسة مثل جزيئات DNA وحيث إن فوق أكسيد الهيدروجين هو عامل مؤكسد قوي فقد يحدث ان يتفاعل مع ايونات الحديد F^{++} الموجوده في الدم ليكون ايونات الحديد F^{+++} وذلك وفق التفاعلات التاليه:

$$H_2O_2 + Fe^{++} \rightarrow Fe^{+++} + OH + OH^-$$

9.2.4المرحلة الحيوية :

وتستغرق هذه عدة دقائق او تستمر لسنوات طويلة وفق الاعراض الناتجة , وقد تؤدي التفاعلا ت الكيميائية سالفة الذكر الى التأثيرات التالية علي الخليه:

أ- قتل الخلية السريع

ب- عرقلة او منع انقسام الخلية

ت- تغيرات دائمة في الخلية يمكن ان تنتقل الى الخلايا الوليده.

يتسبب الاشعاع في تدمير الخلايا وينتج عن ذلك التاثيرات المختلفة للاشعاع علي جسم الانسان . وتنقسم هذه التاثيرات الى فئتين رئيسيتين : مرضيه ووراثيه .

إما التأثيرات المرضية فتنتج عن دمار الخلايا العادية في جسم الانسان نتيجة لتعرضه للاشعاع . أما التأثيرات الوراثية فتنتج عن دمار خلايا التكاثر في الانسان (او الغدد التناسلية)

يتضح الفرق بين النوعين السالفين في ان التاثيرات الوراثية يمكن ان تنتقل من جيل الى اخر يؤدي تفاعل الاشعاع مع الجسم الى ارتفاع لي درجة حرارة العضو المعرض للاشعاع . وتعتبر خلايا التكاثر والنمو من اكثر الخلايا تعرضا للاصابة بتاثير

الاشعاع . ولان خلايا السرطان تنمو باضطراد فانها اكثر عرضة من غيرها للاصابة بامراض الاشعاع ايضا مثلها في ذلك مثل الاجنة والاطفال الرضع الذين هم اكثر عرضه للاصابه من الكبار. وقد يؤدي التعرض للاشعاع الى تجمع الماء في العين وتكون الكتاراكتا كما ويمكن ان يؤدي التعرض للاشعاع الي اثارة تغيرات وراثية تنتج عنها طفرات وراثية تؤدي الى مولد الكثير من البشر المصابين بعاهات او تشوهات خلقيه وذلك لانه يمكن زيادة معدل الطفرة بالحراره او بالطرق الكيميائية او عن طريق الاشعاع . وتشابه تلك الطفرات الناتجة من الاشعاع الطفرات الطبيعية . ويعتقد ان معدل حدوث هذه الطفرات يتناسب مع مقدار الجرعة الممتصة . وليس لتلك الجرعة حد ادنى كما ولا يوجد علاج مناسب لذلك ايضاً. وقد لوحظ ان الجرعة التي قد تضاعف معدل الطفرة تتراوح بين 25,100 رام.

جاءت هذه المعلومات المحدودة عن تأثير جرعات الاشعاع الكبيرة على جسم الانسان في الدراسات التي اجريت على ضحايا قنبلتي هيروشيما ونجازاكي قبيل انتهاء الحرب العالمية الثانية . كما و تم تجميع بعض المعلومات من الحوادث العارضة الناتجة عن استخدامات الطاقة النووية والاشعاع . كما ويوجد هناك نوعان من التعرض للاشعاع.

9.3التعرض الحاد للاشعاع :Acute Exposure

وهنا يتم تعرض مفاجيء للاشعاع يستمر لمدة قصيرة . ويحدث ذلك عند التعرض للاشعاع الناتج عن انفجار نووي كالقنابل النووية . وبذلك تنتج جرعة كبيرة جدا.كما ويمكن أن يتعرض الانسان لاشعاع حاد عند العلاج بالاشعاع حيث يتلقي المريض جرعات محددة من الاشعاع . ويبين جدول رقم (1) تاثير جرعات الاشعاع على جسم الانسان.

9.4 التعرض المزمن للاشعاع Chronic Exposure

وهنا يحدث تعرض دائم للإشعاع وذلك على مدى فترات زمنية طويلة . مما يؤدي الى تراكم كمية كليه من الجرعات الاشعاعية . تتعرض الاحياء عموما وباستمرار لمعدل منخفض من الاشعاع الناتج عن الاشعة الكونية او عن المواد المشعة طبيعياً أو المواد

المحضـرة صـناعياً. وكـذلك للاشـعاع النـاتج عـن الاسـتعمالات الطبيـة للاشـعه x فـي التشخيص وفي العلاج وقد لـوحظ ان بعـض المنـاطق فـي العـالم معرضـة لمعـدلات مـن الاشعاع الطبيعي اكبر من غيرها. مثـل ايطاليـا والهنـد والبرازيـل والنمسـا. وقـد و ضـع مقياس عالمي يحدد اقصى قيمة للجرعة الاشعاعية المسموح بها ويبين جدول رقم (2) مصادر الاشعاع المزمن والجرعات المسموح بها.

جدول رقم (1) مصادر الاشعاع المزمن والجرعات المسموح بها

الجرعة (رام)	الاعراض السريريه المحتمله
0-25	لا يلاحظ شئ
25-100	تغيير وتاثيرات بسيطة في الدم دون مشاهدة اعراض اخرى.
100-200	يحـدث قيـئ خـلال 3سـاعات مـن التعـرض للاشـعاع وذلـك لحـوالى 5-50% مـن الاشـخاص المعرضـين للاشـعاع . كمـا ويحـدث شـعوربالاعياء وفقـدان للشـهية. كمـا يحـدث تغيرمتوسـط للـدم واصـابات مختلفـة للجهـاز الـدوري. هـذا ويمكـن ان يتم الشفاء من جميع الحالات السابقه خلال بضعة اسابيع
200-600	يعاني جميع المعرضين لجرعـات ا شـعاعية اكبـر مـن او تسـاوي 300 رام مـن القـي وذلك خلال ساعتين او اقل من التعرض للاشعاع . كما وتحـدث تغييـرات خطيـرة للـدم مصحوبة باعراض التلوث ثم يتساقط الشعر بعد اسبوعين عند تلقي جرعات اكبر مـن 300 رام . ويمكن ان يتماثل للشـفاء 100-20%مـن مجمـوع الاشـحاص المعرضـين لهذه الا شعاعات . وذلك خلال فترة زمنية تمتد من شهر الى سنه.
600-1000	تحدث مجموعة من الاعراض وذلك خلال ساعة واحدة من التعرض للاشـعاع . حيـث تبدا اعراض القيء والتغيرات في الدم والتلوث .بينما يتم تحطم كريـات الـدم الحمـراء ويتساقط الشعر. ويلاقي 100-80% من مجموع المصابين حتفهم الاكيد وذلـك خـلال شهرين من تعرضهم للاشعاع . اما الذين كتبت لهـم النجـاة فسـوف يبـرأون بعـد فتـرة زمنية طويلة . ولكن يبقى الخطر الاشعاعي كامنا في انتظارأجيالهم حيث تتأثر الخلايـا التناسلية وبذلك تولد اجيال ملوثة بالإشعاع

جدول رقم (2) مصادر الاشعاع المزمن والجرعات المسموح بها

مصدر الاشعاع المزمن	الجرعه(ملليرام/سنه)
أشعة كونية (عند سطح البحر)	41
أشعة y (من الصخور – والتربة- وغيرها	22.8
انويه مشعه داخل جسم الانسان	
(بوتاسيوم-40) $^{40}_{14}k$	16
(كربون-14)C	2
الغبار النووي عام 1970	4
المفاعلات النوويه	0.003
التشخيص الطبي	72

الجرعات السابقة المسموح بها تمثل الحد الادنى الذي يمكن أن يتعرض له الانسان . ولكن يوصى دائما بالتعرض لجرعات اشعاعية اقل من تلك المسموح بها وعند استعمال اشعة X في التشخيص الطبي يراعى خفض جرعة الاشعاع الي اقل درجة ممكنة وذلك باستخدام ماكينات توليد معزولة عزلا جيدا واستخدام الواح فوتوغرافية فائقة الحساسية ، حيث ان تعرضها لجرعة صغيرة من اشعة X تكون كافية للتشخيص دونما تعريض الجسم لاحتمال الاصابة بامراض الاشعاع.

لوحظ أن التعرض لجرعات صغيرة أو لجرعات تمتص اثناء فترة زمنية طويلة قد يسبب اوراما سرطانية ولكن ذلك يتم بعد فترة حضانة طويلة قد تستمر عدة سنوات لا نلاحظ خلالها اية اعراض ناتجة عن الاشعاع . وقد لوحظ ان احتمال الموت بالسوطان يزداد الى الضعف عند التعرض. لجرعة اشعاع تتراوح بين 100و500 رام ويبن جدول رقم (3) الحد الاقصى للجرعات المسموح بها (MPD) لمختلف اعضاء جسم

الانسان ، وذلك للعامة وللافراد العاملين في حقول الاشعاع المختلفة . ويتعرض العاملون في المفاعلات النووية او بالقرب منها الى جرعات من اشعاع النيوترون . ولهذا يجب عزل معامل النيوترونات جيدا وذلك باستعمال جدران من الخرسانة المسلحة ومواد هيدروجينية . وبالتالي يمكن التخلص من اشعة γ واشعاعات النيوترون . في الواقع تتسبب الجرعة الناتجة عن اشعاع النيوترون بطريقة ثانوية في الاصابة بامراض الاشعاع . ويعتد هذا التاثير على كل من طاقة النيوترون وتركيب المادة المعرضة للاشعاع .

جدول رقم (3) الجرعات المسموح بها للعامة وللعاملين في حقول الاشعاع المختلفه

العضو او النسيج	الجرعات المسموح بها للعامة وللعاملين في حقول الاشعاع المختلفه	الجرعات المسموح بها في العام
مخ العظام – تعرض الجسم كله للاشعاع	3رام/ربع سنه - 5رام/سنه	
الجلد – العظام	15رام/ربع سنه -30رام /سنه	3رام/سنه
الغدد الدرقيه	15رام/ربع سنه او30رام /سنه	3رام/سنه باستثناء الاطفال تحت 16 سنه فهنا تهبط الجرعه الي النصف
الايدي – السيقان – الاذرع	40رام/ربع سنه 75رام/سنه	7.5رام/سنه
اعضاء اخري – اشخاص اخرين	8رام/ربع سنه15 - رام/سنه	1.5رام/سنه
النساء الحوامل	0.5رام /9شهور يستحسن عدم التعرض للاشعاع	

لا يسمح بتعرض الاطفال للاشعاع باي حال من الاحوال

10تطبيقات النظائر المشعة في الطب Medical application of radioisotopes

للأشعة المستخدمة في المجالات المختلفة ثلاثة مصادر رئيسيه هي

1- أجهزة توليد الاشعة السينية
2- المسرات النوويه
3- النظائر المشعة

وسنتعرض فيما يلي إلي اهم تطبيقات النظائر المشعة في الطب في مجالات التشخيص والعلاج والتعقيم .

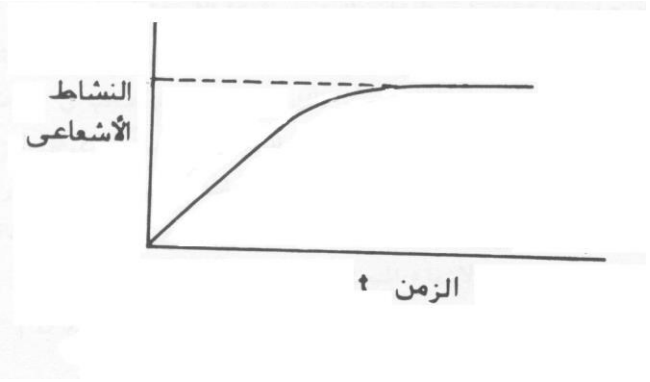
10.1التصوير الاشعاعي : radiography

يطلق اسم التصوير الاشعاعي بشكل عام علي فحص التركيب الداخلي للكائنات الحية أو الاجسام باستخدام الاشعة السينية أو اشعة جاما أو النيترونات حيث يتم الحصول علي الاولي من اجهزة توليد الاشعة السينيه في حين تنبعث الثانية والثالثة من نظائر مشعة مناسبة ويتم تشخيص الأمراض عن طريق التصوير الاشعاعي بدراسة الظلال التي تتركها الاشعة السينية أو أشعة جاما او النيترونات علي فلم حساس بعد اختراقها للعضو الذي يراد تصويره ونظرا لان اختراق الاشعة السينيه واشعة جاما للاجزاء الاكثر كثافة كالعظام أو الاجسام الغريبة الصلبة أقل منه للاجسام الاقل كثافة , فإنه يمكن ملاحظة وجود الكسور في العظام أو وجود الاجسام الغريبة في الجسم من خلال اتباين في الظلال التي تظهر علي الفلم الحساس حيث تظهر الشقوق والكسور والمواد الاقل كثافة أقل سواداً , أما بالنسبة للنيترونات فيكون العكس تقريباً حيث يكون اختراقها للاجسام الاكثر كثافة أكثر من اختراقها للمواد الاقل كثافة وتحلل الظلال بناء علي ذلك

وبالرغم من ان الاستخدام الاول لهذه التطبيقات مازال للاشعة السينيه إلا ان النظائر المشعة مثل نظير الكوبالت – 60 (عمر النصف 5.27 عام) والذي يصدر اشعة جاما ذات طاقة1.17 م.أ.ف و1.33 م.أ.ف يعتبر بديلا مناسباً نظراً لقلة تكلفتة وسهولة انتقاله واستغنائه عن أية وصلات كهربائيه مقارنة بأجهزة توليد الاشعة السينية , إلا انه مما يحصر استخداماته في حدود ضيقه في هذا المجال ثبات طاقته وشدته في حين أن التحكم في طاقة الاشعه السينيه وشدتها يكون ميسوراً وتستخدم حالياً النيوترونات في بعض الفحوصات لحساسيتها للانسجة المختلفة في الجسم .

10.2التشخيص بإستشفاف النظائر المشعة : diagnosis by radio isotopes tracing

الاستشفاف الاشعاعي هو تتبع امتصاص النبات أو جسم الانسان لعنصر معين عن طريق الاشعة التي تصدر عن النظير المشع لهذا العنصر , ويتم ذلك بخلط العنصر مع كمية ضئيله من احد نظائره المشعة حيث يتم تتبع سير ذلك العنصر وانتشاره عن طريق قياس كمية الاشعة المنبعثه من النظير المشع في الاماكن المطلوبة .



شكل رقم (1) منحنى تغير النشاط الاشعاعى مع الزمن فى القدمين.

فعلي سبيل المثال يمكن معرفة معدل جيران الدم في الاوعية الدمويه وكفائة نقل الدم خلال الشعيرات الدمويه وتشخيص مختلف الاعراض المرضية المتصلة بها كضيق الاوردة والشرايين .

وتتلخص الطريقه بحقنالجسم بمحلول ملح الطعام الذي يحتوي علي كمية ضئيلة من نظير الصوديوم -24 المشع (عمر النصف 15.03 ساعة) عن طرق احد اوردة اليدين ويتم قياس منحني تغيير النشاط الاشعاعي مع الزمن في القدمين , والسرعة التي يصل فيها الي حالة الاتزان التي تعتبر مقياساً لسرعة انسياب الدم في اوردة الجسم وشراييبنة , ويبين الشكل (1) هذا المنحني لدي اصحاء الاجسام , وبمقارنة المنحني المقيس بالمنحني المعياري يستطيع الطبيب تشخيص الحاله . وبما أن الذبحات الصدرية وامراض القلب الناتجة عن تصلب الشرايين ويقها هي المرض القاتل الأول في العصر الحديث فإن هذا يظهر أهمية مثل هذه الأستخدامات للنظائر المشعة في تشخيص الامراض .

وكذلك يمكن الكشف عن اماكن التليف في اعضاء الجسم المختلفه كالقلب والطحال حيث ان الخلايا المتليفه يقل او يكاد ينعدم امتصاصها للدم الذي تحقن فيه النظائر المشعة المناسبة .

10.3التشخيص عن طريق قياس العناصر النادره في الجسم : diagnosis by trace element measurement in the body

هناك نحو 50 عنصر نادراً (ذا تركيز قليل جداً) في دم الانسان وجسمه , يعتبر وجود احداها او بعضها فوق نسبة معينة مؤشراً علي وجود مرض ما في جسم الانسان . فعلي سبيل المثال يمكن تشخيص مرض تليف المرارة عند الاطفال بقياس تركيز الصوديوم في اظافرهم

ومن اهم الطرق المستخدمة في قياس تركيز العناصر النادرة والشوائب طريقة التحليل بالتنشيط الاشعاعي بالنيوترونات حيث يتم تشعيع العينة المراد قياس تركيز العناصر النادره أو الشوائب فيها فإن ذلك يؤدي الي تحولها الي نظائر مشعة تنبعث منها اشعة جاما ذات طاقات مميزه لكل عنصر , لذلك فإن طاقات جاما المنبعثه تشير الي وجود عناصر تتميز باشعاع هذه الطاقات , في حين تدل شدة الشعاع عند طاقة معينة , والتي يمثلها ارتفاع الخط من الطاقة علي المحلل المتعدد القنوات , الي كمية العنصر الذي يشع تلك الطاقة وذلك بعد المقارنة بعينة معيارية حسب العلاقة :

$$W = W_s \frac{A}{A_s}$$

حيث W وزن العنصر المجهول , w_s وزن العنصر في العينة المعياريه , A النشاط الاشعاعي للعنصر المجهول و A_s النشاط الاشعاعي للعنصر في العينة المعياريه .

وتعتبر طريقة تحليل التنشيط بالنيوترونات من ادق الطرق لقياس تركيز العناصر النادره حيث يمكن بهذه الطريقه الكشف عن 76 عنصرا لا تتعدي كمياتها جزءاً من البليون من الجرام , في حين يمكن الكشف عن 11 عنصراً لا تزيد كميتها عن جزء من مليون مليون من الجرام , ولهذه الطريقه تطبيقات كثيره في المجالات المختلفة نذكرها في موضعها .

10.4استخدامات النظائر المشعة في العلاج : radio isotopes applications in therapy

تؤدي النظائر المشعة في هذه الايام دورا هاما في معالجة الاورام الخبيثه , ومن اهم النظائر المستخدمة في هذا المجال نظير الكوبالت -60 حيث توجه أشعة جاما المنبعثة منه الي الانسجة المصابة في الجسم , وتخترق هذه الاشعة الانسجة الي العمق المطلوب الذي تتواجد فيه الخلايا السرطانيه فتقتلها ,وبالطبع فان هذا يؤدي الي حصر انتشار السرطان ولكنه في الوقت نفسه يؤدي الي قتل خلايا حيه الامر الذي ينتج عنه بعض العوارض الثانويه كتساقط الشعر والغثيان وغير ذلك , الا ان تلك العوارض اهون بكثير من استشراء المرض وانتشاره في كافة انحاء الجسم , وقد تم تحقيق نجاح لا باس به في محاربة هذا المرض الخبيث باستخدام النظائر المشعه , الا ان هذا النجاح يتوقف علي نوع الورم ومكانه ومدي انتشاره في الجسم , وفي بعض الاحيان يحقن النظير المشع علي شكل ساءل يحتوي علي نظير البورون , وفي احيان اخري يزرع النظير المشع في الجسم في اقرب مكان لمركز الورم , وتستخدم ايضا بعض مصادر النيوترونات مثل الكالفورنيوم -252

10.5تعقيم المواد الطبية : sterilization of medical materials

لقد وجد ان اشعة جاما بطاقة 0.662 أف المنبعثه من السيزيوم -137 (عمر النصف 174 , 30 سنة) فعالة جدا في القضاء علي الميكروبات والجراثيم , وبذلك فإن الاشعة المنبعثه من هذا النظير يمكن استخدامها في اجراحه كالمشاريط والمقصات والملاقط واللفائف وغير ذلك , حيث تبين ان تعقيمها بالاشعة يكون اكثر ضمانا في منع تلوث الجروح بالميكروبات من الطرق التقليديه التي تستخدم الحراره والمواد الكيماويه المعقمه

11استخدامات النظائر المشعة في الزراعة :

Radio isotopes applications in agriculture

للنظائر المشعة تطبيقات كثيره في مجال الزراعة نذكر منها علي سبيل المثال لا الحصر التطبيقات التالية :

11.1دراسة امتصاص النباتات لعناصر بطرقة الاستشفاف

باستخدام طريقة الاستشفاف التي تقدم ذكرها في هذا الباب يمكن دراسة سرعة امتصاص العناصر الكيمائية بواسطة النباتات واثر ذلك عليها , ومن ثم اضافتها في صناعة السماد بالقدر المطلوب فعلي سبيل المثال يمكن دراسة مدي فعالية سماد كيمائي يحتوي علي الفسفور عن طريق تتبع امتصاص النباتات لعنصر الفسفور . ويتم ذلك باضافة كمية ضئيلة من نظير الفسفور المشع -32 الي السماد (عمر النصف 14.28) حيث يشع جسيمات بيتا بطاقه مقدارها 1.7 م أ ف , وبقياس كمية الاشعاع المنبعث من النظير الممتص في اوقات ومواضع مختلفة في النبات بواسطة كاشف اشعاعي مناسب يمكن حساب كمية النظير المشع الممتص ومن حساب الفسفور الكلي الممتص وتقييم كفاءة السماد .

11.2احداث طفرات في البذور الزراعيه

يعتمد علم تهجين النبات علي انتقاء بذور لها صفة ممتازه كمقاومة الامراض مثلاً , وبذور لها صفة ممتازه اخري كغزارة الانتاج , ثم استنبات هذه البذور وتخصيبها لانتاج بعض البذور التي تحمل الصفتين الممتازتين مجتمعتين , وهذه العملية بطيئه وتستغرق زمنا وجهدا كبيرين ولكن من الممكن تعجيلها بتعريض البذور المراد تحسين نوعيتها الي فيض من جسيمات الفا أو جسيمات بيتا او اشعة جاما او النيترونات , حيث تقوم هذه الاشعة باحداث طفرات معينة في انوية هذه البذور فتكتسب بعضها الصفات المرغوبه كمقاومة الامراض وغزارة الانتاج وجودته الي غير ذلك , وقد تم تحقيق نجاح باهر في هذا في هذا المجال في تحسين بذور الفول والفستق وكثير من النباتات والزهور الاخري

ولا يخفي اهمية هذه الطريقه في تحسين الانتاج الزراعي في العالم الذي لا يتناسب نمو انتاجه النباتي مع نموه السكاني.

11.3حفظ الاغذيه بالتشعيع food conservation by irradiation

إن تشعيع المواد الغذائيه باشعة جاما بطاقه كافيه ولفتره مناسبة يؤدي الي قتل الكائنات الدقيقه فيها , الامر الذي يطيل مدة بقائها بدون تلف , وقد بدأت دراسات جدوي هذه الطريقه في حفظ المواد الغذائيه منذ عام 1953 تقريبا , وقد ظهر جليا جدوي هذه الطريقه حيث امكن زيادة مدة حفظ بعض المواد كالبطاطا والبصل عند تعريضها لاشعة جاما لبضعة شهور اضافيه عن مدة حفظها بدون تشعيع , ولم يظهر من هذه الدراسات وجود مخلفات اشعاعيه بعد تعريض هذه المواد الغذائيه لاشعة جاما , ولكن لوحظ بعض التغير في طعم بعض الاصناف الغذائيه ولونها كاللحوم وبعض الفواكه والخضار , في حين لم يلاحظ أي تغيير يذكر في بعض المواد الاخري .

وقد عزي هذا التغيير في الطعم واللون الي حدوث بعض التغيرات الكيميائيه في الماده الغذائيه والتي لا يستبعد ان يكون لها بعض التاثيرات الصحيه الضاره , وقد وجد انه يمكن التقليل من هذه التغيرات الكيميائيه وبالتالي تقليل التغير في الطعم واللون او ازالته كليا في بعض المواد الغذائيه اذا تم تشعيعها تحت درجة حرارة منخفضه .

13المراجع

1- فيزياء الاشعاع قياساته وتطبيقاته العملية, د.محمد شحادة الدغمة, 1998
2- الوقاية من الاشعاعات المؤينة, د. بهاء الدبن حسين معروف, 1989
3- مبادئ الفيزياء النووية وتقنيتها, د. بسام محمد داخل, احمد شريف عودة,ا.د.احمد احمد القاضى
4- *J. E. turner,* **Atoms, Radiation and radiation protection** *.1995*

14الفهرست

Contents

المحاضرة الاولى.....2
مدخل إلي فيزياء الإشعاع.....2
1 التركيب الذري **(Atomic structure)**.....3
1.1 الذره **(Atom)**.....3
1.2 النواه **(nucleus)**.....4
1.3 العدد الذري **(Atomic number)**.....4
1.4 العدد الكتلي **(Mass number)**.....4
1.5 العدد النظائري **(lostopic number)**.....5
1.6 النويده **(nuclide)**.....5
1.7 النيوترونات **Neutrons**.....5
1.8 البروتونات **(protons)**.....6
1.9 الالكترونات.....6
1.10 انبعاث الاشعاع من النويدات المشعه.....8
2 جسيمات الفا.....8
3 جسيمات بيتا.....9
3.1 مدى دقائق بيتا.....11
4 النشاط الإشعاع**Radioactivity**.....13
4.1 انحلال الفا **α -decay**.....13
4.2 انحلال بيتا **Beta decay**.....15
4.3 انواع تفكك بيتا.....17
4.3.1 التفكك الالكتروني.....17
4.3.2 التفكك البوزيتروني.....17
4.3.3 الاسر الالكتروني.....17
4.4 طاقة جسيمات بيتا.....19
4.5 اشعاعات جاما **Gamma radiation**.....21
4.6 الأشعة السينية **x-rays**.....23
4.6.4 الأشعة السينية المميزة للعنصر.....23
4.6.5 الأشعة السينية الانكباحية(تناقصية)

24.....
5 قانون التفكك الإشعاعي.....25
5.1 الشدة الإشعاعية للعينة.....25
5.2 تحديد ثابت الانحلال λ (وعمر النصف $t_{1/2}$ ومتوسط العمر **t** عمليا...26
5.3 تحديد العمر النصفي للنظائر المختلطة 30
5.4 التفكك الإشعاعي المتتابع.....31
5.5 التوازن الإشعاعي 34
5.6 التوازن الابدي.....35
5.7 التوازن الانتقالي 37
5.8 وحدات قياس النشاط الاشعاعي.....38
وسوف نستعرض فيما يلي تفصيل الاشعاع المعرض له الانسان.....39
6 مصادر التعرض الى الاشعاع 39
6.1 النظائر المشعه الطبيعية.....39
6.2 النشاط الاشعاعي في قشرة الارض.....40
6.2.1 .....الصخور البركانيه
41.....
6.2.2 .....الصخور الرسوبيه
41.....
6.3 النشاط الاشعاعي في التربه 42
6.4 النشاط الاشعاعي في الماء 42
6.5 النشاط الاشعاعي في الهواء.....42
6.6 العناصر المشعه فى الكائنات الحيه 43
7 الاشعه الكونبه 45
7.1 الاشعه الكونيه الابتدائيه 45
7.2 الاشعه الكونيه الناتجه من الكواكب 45
7.3 الاشعه الكونيه الشمسيه الابتدائيه 45
7.4 الاشعه الكونيه الثانويه.....45
7.5 النويدات المتولده بفعل الاشعه الكونيه 46
7.6 المواد المشعه الناتجه من توليد الطاقه الكهرونوويه 46
7.6.1 .....المواد المشعة الناتجه من تعدين وطحن اليورانيوم
47.....
7.6.2 .....المواد المشعة الناتجة من تصنيع الوقود النووي :
48.....
7.6.3 .....المواد المشعة الناتجة من تشغيل المحطات الكهرونووية
48.....
7.7 غازات التنشيط 50

7.7.4 التريتيوم 50
7.7.5 الكربون -14 51
7.7.6 اليود 51
7.8 الجسيمات في النفايات المشعة المنبعثة في الهواء 52
7.9 النفايات المشعه السائلة 53
7.10 المواد المشعة الناتجة من استخلاص الوقود 54
7.11 النفايات المشعه الغازيه 54
7.12 الرذاذ المشع 54
7.13 النفايات المشعة السائلة 55
7.14 خزن وردم النفايات المشعه 55
7.14.7 النفايات المشعه المنخفضة والمتوسطه النشاط الاشعاعي 56
7.14.8 النفايات المشعه العاليه النشاط الاشعاعي 57
7.15 منشآت البحوث النوويه 58
8 مصادر الاشعاع الطبيعيه المصنعه 59
8.1 توليد الطاقه من الفحم الحجري 59
8.2 انتاج الطاقة الحرارية الجيولوجية 59
8.3 استغلال الصخور الفوسفاتيه 59
8.3.1مصادر الاشعاع فى النفايات المشعه الناتجه من معامل معاملة الصخور الفوسفاتيه 60
8.3.2 المصادر الاشعاعيه الناتجه عن الستخدام الاسمده الفوسفاتيه 60
8.3.3 مصادر الاشعاع الناتجة عن استخدام النواتج المرضية والنفايات 61
8.4 مصادر الاشعاع في السلع الاستهلاكيه 62
8.5 الاجهزه ذات الارقام المضيئه 62
8.5.4 الاجهزه الكهربائيه والالكترونيه 62
8.5.5 كواشف الدخان 63
8.5.6 السيراميك والاداوات الزجاجيه 63

قياس الجرعات الاشعاعيه**Dosimetry** 64
8.6 الروتنجن (**R**) 64
8.7 الراد **rad** 65
8.8 حساب الجرعات الاشعاعيه: 66
8.8.7 الجرعات الناتجه عن اشعاع γ تعطى الجرعه بالعلاقه**:** 74
8.8.8 الجرعات الناتجه عن النيوترونات 75
8.8.9 عامل التراكم (**B**) للنيوترونات السريعه 77
8.8.10 ثابت معدل التعرض للاشعاع او معامل **K** : 78
التاثير الحيوي للاشعاع**:** 80
9 تركيب الخليه الحيه 80
9.1 الخلايا الميوتيكيه **mitotic** 81
9.2 تفاعل الاشعاع مع الخليه**:** 81
9.2.1 المرحلة الطبيعيه الابتدائيه : 82
9.2.2 المرحلة الكيموفيزيائيه : 82
9.2.3 المرحلة الكيميائية : 83
9.2.4 المرحلة الحيوية : 84
9.3 التعرض الحاد للاشعاع **Acute Exposure:** 85
9.4 التعرض المزمن للاشعاع **Chronic Exposure** 85
10 تطبيقات النظائر المشعة في الطب **Medical application of radioisotopes** 89
10.1 التصوير الاشعاعي : **radiography** 89
10.2 التشخيص بإستشفاف النظائر المشعة : **diagnosis by radio isotopes tracing** 90
10.3 التشخيص عن طريق قياس العناصر النادره في الجسم : **diagnosis by trace element measurement in the body** 91
10.4 استخدامات النظائر المشعة في العلاج : **radio isotopes applications in therapy** 92
10.5 تعقيم المواد الطبية : **sterilization of medical materials** 93

11 استخدامات النظائر المشعة في الزراعة : 94
11.1 دراسة امتصاص النباتات لعناصر بطرقة الاستشفاف 94
11.2 احداث طفرات في البذور الزراعيه..... 94
11.3 حفظ الاغذيه بالتشعيع **food conservation by irradiation** 95
13 المراجع 96
14 الفهرست 97