



محاضرات فى الفيزياء الحيوية و الاشعاعية

الفرقة الثانية
بيولوجى وجيولوجى تربية عام

إعداد

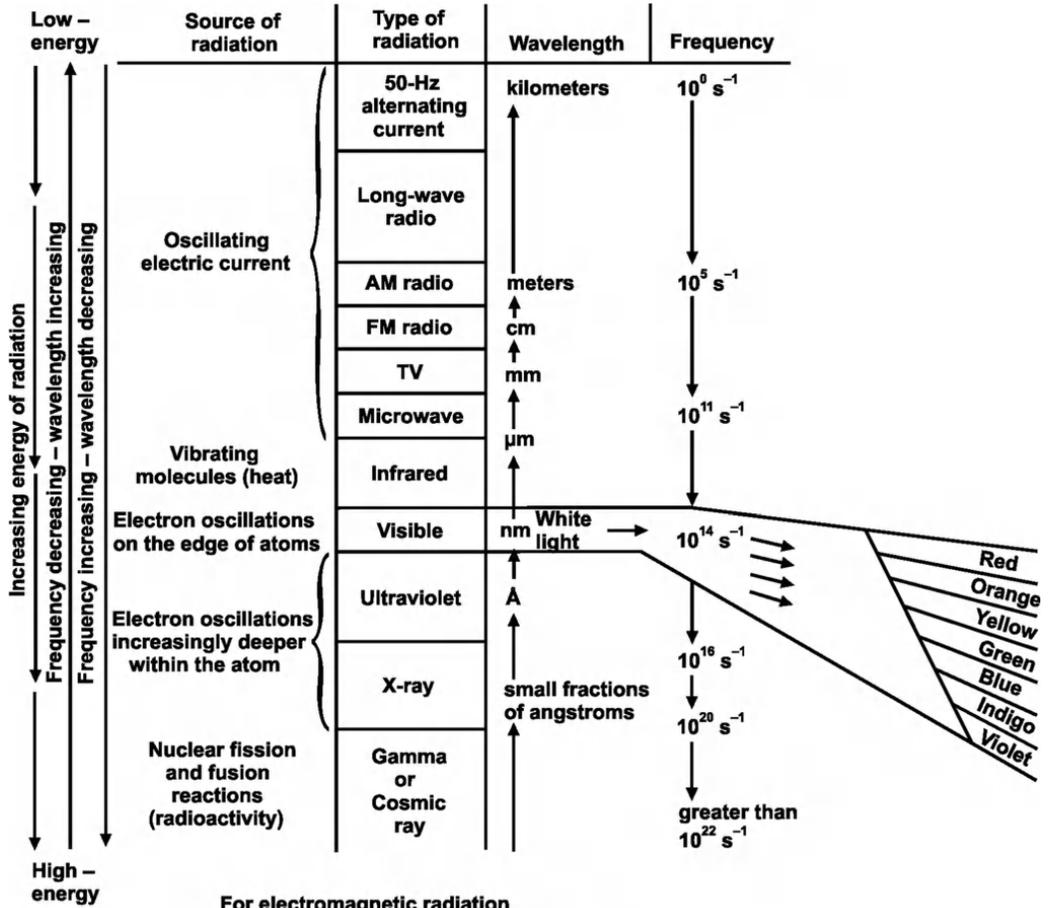
أ.د./ شعبان رمضان محمد حرب

أستاذ الفيزياء الاشعاعية

2024-2023

مدخل إلى 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).



For electromagnetic radiation

$$\text{Velocity} = c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s (approx.)}$$

$$\text{Velocity} = \text{frequency} \times \text{wavelength}$$

$$\text{Photon energy } E = h\nu = h \times \text{frequency}$$

شكل 1-1 الطيف الكهرومغناطيسي موضحا فيه الطول الموجي لأشعة جاما

إن الإشعاعات المؤينة وهي تشمل الأشعة السينية وأشعة جاما وجسيمات ألفا وجسيمات بيتا والنيوترونات .

يستعمل مصطلح النشاط الإشعاعي لوصف التحولات الذرية الذاتية الخاصة بإطلاق الطاقة والتي تتضمن تغيراً في نواة الذرة . إن الطاقة المحررة تنبعث على شكل إشعاع كهرومغناطيسي أو إشعاع جسيمى وتسمى النوى التي تضمحل بصورة ذاتية النويدات المشعة التي يمكن أن تتحلل بطرق متعددة وتحدد نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات حالة استقرار النوى وتحاول النوى غير المستقرة الوصول إلى حالة الاستقرار عن طريق تغيير طاقتها أو نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات .

1 التركيب الذري (Atomic structure)

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

1.1 الذرة (Atom)

إن جميع المواد مؤلفة من ذرات وتؤلف الذرة اصغر وحدة ذات مواصفات يمكن تمييزها من العناصر الكيميائية 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 1×10^{-8} cm بينما يبلغ نصف قطر نواتها نحو 1×10^{-12} cm وجميع الالكترونات تحمل نفس الشحنة الكهربائية التي يكون مقدارها نحو 1.602×10^{-19} coulomb ويكون لها نفس الكتلة البالغة 9.11×10^{-28} g

ان الذرة لا تشكل جسيمة صلبة من المادة 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) هو كتلة العنصر بالجرامات و الذى 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

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

F = حيث ان وحدة فرادي

e = شحنة الالكترون

$$M = 1.66 \times 10^{-24} \text{ A g}$$

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

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

1.2 النواه (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.

1.3 العدد 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.

1.4 العدد الكتلي (Mass number)

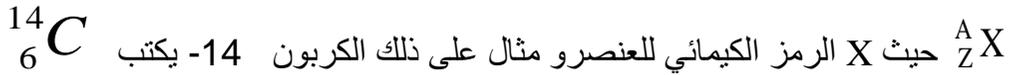
ويرمز له بالحرف A وهو يساوي الكتلة الذرية كلها تقريبا حيث يساوي عدد البروتونات التي في النواة وعدد النيوترونات الموجودة في النواة كذلك .

1.5 العدد النظائري (Isotopic number)

ويرمز له بالحرف A وهو يمثل عدد النيوترونات التي في النواة

1.6 النويده (nuclide)

وهي النواة المحتوية على عدد معين من البروتونات والنيوترونات وتكتب على هيئة



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 متساويا (isomers) وهي النويدات التي يكون لها نفس العدد الذري ونفس العدد الكتلي . وهناك نويدات يكون عدد النيوترونات فيها متساويا 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 ، وتبلغ قيمة وحدة كتلة ذرية واحدة $1.66 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

1.7 النيوترونات Neutrons

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

$$E = mc^2$$

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

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

حيث يرمز الحرف J الي الجول و Mev الي مليون الكترون فولت وهناك عدد من المصطلحات التي تستعمل لوصف النيوترونات حسب طاقتها . وتتراوح حدود طاقة النيوترون التي تهم الفيزيائي الصحي بين حيث يرمز kev الي كيلو الكترون فولت

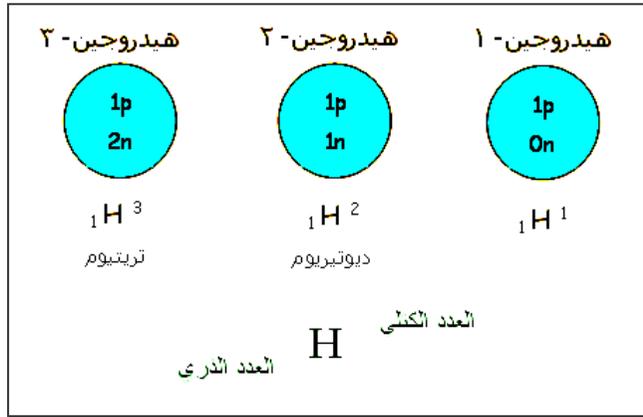
1.8 البروتونات (protons)

وهي جسيمات لها شحنة كهربائية موجبة واحدة وتكون مستقرة في نواة الذرة وربما يكون هنالك بروتون واحد او اكثر في النواة ان كتلة البروتون تبلغ 1.00728 a.m.u وان عدد البروتونات التي في النواة يمثل العدد الذري للعنصر الذي يحدده موقعه في الجدول الدوري والذي يحدد هويته كذلك . وهذه المكونات تحدث بصورة طبيعية كمكونات وحيدة لنواة ذرة الهيدوجين وانه يمكن ايجادها باعداد اكبر في نوى العناصر الاخرى وللبروتون كتلة مقدارها 1835 مرة كتلة الالكترون وان لها طاقة اقل من بضعة مليون الكترون فولت وهي تسير بسرعة اقل من سرعة الالكترونات ذات الطاقات المقاربة . ان البروتونات لا تنبعث نتيجة الانحلال الاشعاعي لنوى العناصر. كما ان ازدياد طاقة الارتباط يؤدي ال ازدياد استقرار النواة لان هذه الطاقه يجب ان تجهز الي النواة قبل ان تتمكن من التجزئة.

1.9 الاكترونات

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية سالبة عادة . وتبلغ كتلة الالكترون 1/1850 من كتله البروتون وهي تدور في مدارات حول النواة ويكون عدد الالكترونات مساو لعدد البروتونات التي في النواة في الذرات المتعادلة . ان الالكترونات التي حول النواة لا تتحرك بمدار واحد ولكن اعتمادا علي عددها فان مجاميع معينة تتحرك في مدارات مختلفة حول النواة و يدعى كل واحد من هذه المدارات القشره الالكترونييه .

ان الالكترونات تدور بسرعه منتظمه جداً ولولا قوة الجذب المساطه 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 وابطس تركيب ذري هو الهيدروجين شكل (1-2).



شكل (1-2) نظائر الهيدروجين.

حيث تحتوي النواه على بروتون واحد ويحيط بالنواه مدار الكتروني فيه الكترون واحد وان الذره التي تقع في المرتبة الثانيه من حيث البساطه هي ذرة الهيليوم التي 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 حيث تساوي كتلتها سبعة ويكون لها ثلاثة الكترونات لمعادلة شحنة البوتونات اثنان منها في المدار الاقرب الي النواه والثالث في المدار الخارجي ان الذرات الاكثر تعقيدا لها اعداد متزايدة من البروتونات والنيوترونات في النواه مع الزيادة المرافقه للالكترونات التي في المدارات المحيطه وتعرف العناصر الكيمائيه بعدد البروتونات التي في النواه مع الزيادة المرافقه للالكترونات ويؤدي التفاعل بين الالكترونات للعناصر الي بناء المركبات الكيمائيه.

1.10 انبعاث الإشعاع من النويدات المشعة

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

2 جسيمات الفا

وهي نواة ذرة الهيليوم المشحونه بالطاقه المتكونه من نيوترونين وبروتونين وبهذا فان عددها الكتلي يبلغ 4 وهي تحمل وحدتين من الشحنات الموجبة ويبلغ عددها الذري 2 ويبلغ ثقل جسيمة الفا حوالي 7300 مرة اقل من الالكترن و يتم اطلاق هذه الجسيمات نتيجة الانحلال الإشعاعي للنويدات المشعة التي تكون قيمة عددها الكتلي اكثر من 208 اي اقل 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 . وهناك 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 باثنين 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 (1.4×10^9 و 2.1×10^9) 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 المربع في المواد الصلبة , ويصاحب انبعاث جسيمات الفا في بعض الاحيان انبعاث اشعة جاما حيث تنبعث خلال فترة قصيرة جداً (10^{-12}) ثانية من انبعاث الفا ولكن في بعض الحالات فان النويده البنيت تستطيع ان تبقي منشطه لفترات زمنية طويله جداً تبلغ عدة سنوات وتدعي في هذه الحالة متماثلات (Isomers) وعندما يتم اطلاق الطاقه اخيراً علي شكل اشعه جاما فإن هذه العملية تدعي التحول التماثلي.

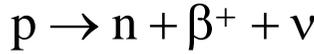
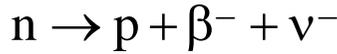
3جسيمات بيتا

وهي ألكترونات ذات شحنة سالبة سريعة الحركة او الكترونات موجبة يجري اطلاقها من النواة . ان سرعتها تبلغ 160الف 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 تنتشت 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 الإبتدائية 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 الإشعاعي المستلمة عند تحول النيوترون الي 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 القصوى التي تتوفر نتيجة الانحلال , ان فرق الطاقة بين هذه القيمة القصوى وبين الطاقة الحقيقية لجسيمة بيتا يجري حملها بواسطة جسيمة اخرى تعرف بالنيوتريـنو . وفي الواقع فان هنالك نوعان من النيوتريـنو الاول هو النيوترونو (ν) والآخر هو مضاد النيوترونو ($\bar{\nu}$)

ان التفاعلين اللذين يحدثان في النواه هما تفاعل



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



ان طيف انبعاث البوزترون يختلف عن طيف انبعاث الالكترن 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 70000-11500 eV في مولدات الاشعة السينية لاغراض الفحص الطبي وعدة ملايين من الالكترن فولت في بعض اجهزة العلاج بالاشعة السينية ان

الإلكترونات ذات السرعة العالية المنبعثة من النويدات المشعة لها طاقات تتراوح بين بضعة آلاف الكترون فولت الي أكثر قليلا من مليوني الكترون فولت وهي تكون كافية لتتبع وجود النوى التي تطلق . هذه الأشعة . وتطلق جسيمات بيتا بسرعا عالية جداً مقارنة 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 بالسنتيمتر المربع (gcm^{-2}) في المواد الصلبة وبعد ان يتم اطلاق جسيمة بيتا ربما تبقى النويذة 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 الالكترن - البوزترون يتم اندماجه وان الكتلة المستقرة للجسيمتين تظهر على شكل كميات .

والالكترن الموجب عندما لا يكون مع الالكترن فانه يكود مستقراً ومع هذا فان البوزترون يتحد في النهاية مع الالكترن في تفاعل ينتج عنه فناء كليهما وينتج عنه اثنان من اشعاع الفناء لكل منهما طاقه 0.511 MeV ان الالكترن 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 اليوية بالاضافة الى التفاعلات الخاصة بالاشعاعات ذات الطاقات العالية

3.1مدى دقائق بيتا

ان السمك الاقصى الذي تقوم جسيمات بيتا باختراقا يدعى المدى ويمثل $2.1J$ بعض مدى جسيمات بيتا, ان المدى 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 مدى جسيمات بيتا يعتمد بصورة كبيرة على الطاقة القصوى وغالبا ما يعبر عن المدى بسمك الكثافة الذي يعرف بانه الكتلة لوحدة المساحة المتمثلة بنموذج ذي كثافة

معينة . ان الوحدات تعطي عادة بالملجرامات مقسومة على مربع السنتمترات (mg/cm^2) ولوسط ذي كثافة (mg/cm^2) فان المدي المعطي بوحدة mg/cm^2 هو $\sim 1000 e$ 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 مخالفة لجسيمات بيتا التي تبطل عند فقدانها 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 وتهيج 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 النواه 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 مشابهها 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

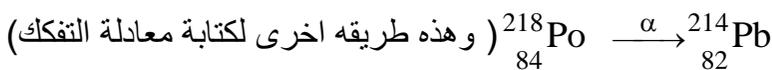
والنشاط الإشعاعي عبارة عن اضمحلال تلقائي لنواة النظير مع إصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا قد تتبعها إشعاعات جاما . وتعرف النظائر التي يحدث فيها هذا التفكك بالنظائر المشعة . وتجدر الإشارة إلى ان عملية التفكك تحدث فى النظائر سواء كانت فى صورة نقية أم تدخل ضمن مركبات كيميائية . كما أن عملية التفكك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

4.1 انحلال الفا α -decay

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



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



ولكي تكون النواة مشعة لجسيم ألفا يجب ان تكون كتلتها اكبر من 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 الإشارة إلى أن طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نظير معين تتخذ قيمة واحدة ، ولكن اذا تكونت النواة الوليدة 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 ميغا إلكترون فولت ، أما جسيمات ألفا الصادرة عن اليورانيوم 238 فتتخذ قيمتين هما 4.196 ميغا إلكترون فولت و 4.149 ميغا إلكترون 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 أينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة حيث إن الطاقة الناتجة عن التفكك هي

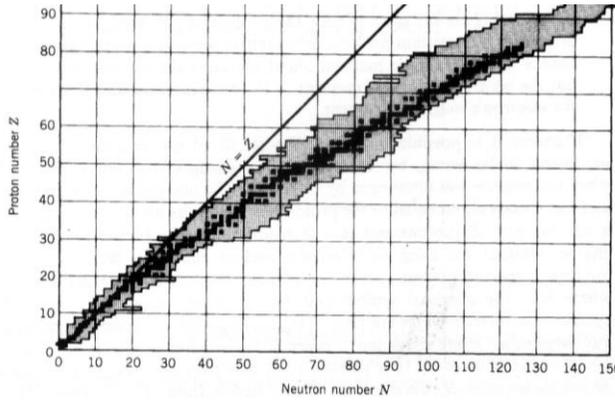
$$E_p = \{M_p - (M_d + M_\alpha)\}C^2$$

وتتوزع هذه الطاقه بين جسيم الفا والنواة الوليدة 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.

4.2 انحلال 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 لكي 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 شكل 2-1. منحني



الاستقرار بالنسبة لانحلال بيتا

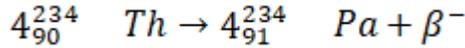
لنظائر الثقيلة . فمثلا يلاحظ أن نواة نظير الكربون $^{12}_6C$ مستقرة حيث إن نسبة النيوترونات الي البروتونات فيها هي $1 = \frac{6}{6} = \frac{N}{Z}$ وتعتبر هذه النواه من النوى الخفيفة . أما نواة نظير الكربون-14, ($^{14}_6C$) فهي نواة غير مستقرة حيث إن هذه النسبة تصبح $\frac{8}{6} 1.33 = \frac{N}{Z}$ كذلك يلاحظ أن نواة نظير السيزيوم-133 $^{133}_{55}Cs$ مستقرة لأن النسبة تكون 1.42 في حين أن نواة نظير السيزيوم - $^{137}_{55}Cs$ غير مستقرة لأن النسبة تصبح 1.49 ويوضح شكل (2-1) منحني الاستقرار بالنسبة لتفكك بيتا , وهذا المنحني 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.

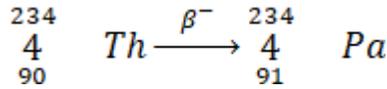
كذلك يمكن أن يكون النظير المعين مستقرا بالنسبة لتفكك ألفا ولكنه غير مستقر بالنسبة لتفكك بيتا والعكس صحيح . فمثلا تعتبر نواة اليورانيوم-238 مستقرة بالنسبة لتفكك بيتا (أي لا تصدر جسيم بيتا) ولكنها غير مستقرة بالنسبة لتفكك ألفا (أي تصدر جسيم α) . ونتيجة لإصدارها جسيم α تتكون نواة جديدة هي الثوريوم -234. وعند حساب

$$\text{النسبة } \frac{N}{Z} \text{ لليورانيوم 238 نجدها } 1.6 = \frac{144}{90} = \frac{N}{Z} \text{ أى أن نسبة}$$

النيوترونات إلى البروتونات خرجت عن منحنى الاستقرار, لذا نجد أن نواة الثوريوم تصبح غير مستقرة بالنسبة لإصدار جسيم بيتا. ويعبر عن هذا التفكك كالتالى :



او بطريقه اخرى كالتالى:

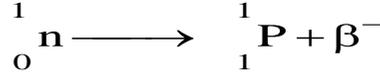


اي أن نواة الثوريوم- 234 تفككت إلى نواة بروتاكتينيوم-234 مع إصدار إلكترون ويلاحظ أنه نتيجة لهذا التفكك زاد عدد البروتونات بمقدار بروتون واحد في حين قل عدد النيوترونات بمقدار نيوترون واحد فتصبح نسبة N/Z في البروتاكتينيوم هي 1.571 وهى تحقق الاستقرار بالنسبة لإصدار بيتا.

4.3 انواع تفكك بيتا

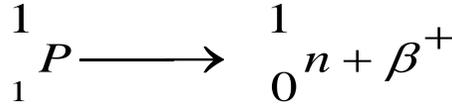
4.3.1 التفكك الالكتروني

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



4.3.2 التفكك 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:

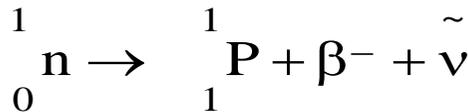


4.3.3 الاسر الالكتروني

يمكن ان يحدث تحول احد بروتونات النواه الي نيوترون بطريقة 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 الالكترون الماسور مع احد البروتونات فيتكون النيوترون ويعرف تفكك بيتا في هذه الحالة بالاسر الالكتروني ويعبر عنه كالآتي :



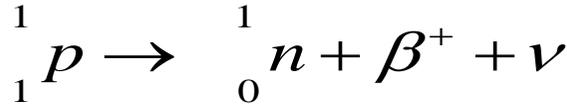
وهكذا فانه يوجد ثلاثة انواع لتفكك بيتا هي التفكك الالكتروني وفي حالة الاسر الالكتروني لا تصدر لنواه ايا من جسيمات بيتا ولقد ثبت فيما بعد انه عند حدوث أي نوع من تفكك



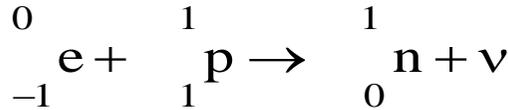
بيتا ينطلق من النواه جسيمات تعرف باسم النيوترينو ν^- , والنيوترينو عباره عن جسيم

متبادل الشحنة وكتلة السكون له مساويه للصفر (أي $m_\nu = 0$) وعلي هذا اصبح التعبير عن الانواع الثلاثة لتفكك بيتا كالآتي

ويعرف $\tilde{\nu}$ باسم النيوترينو المضاد وعموما يعرف الجسيم المضاد على انه هو الذي اذا تلاقى مع جسيمه فانهما يفنيان وينتج عن هذا الفناء طاقة في شكل اشعاعات



كهرومغناطيسية (اشعاعات جاما أو أشعة سينية). ويمكن معرفة ما اذا كان النظير



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

$${}^A_Z M > ({}^A_{Z+1} M + m_e)$$

حيث ${}^A_Z M$, ${}^A_{Z+1} M$, m_e هي كتل الالكترن والنواه الوليده و النواة

الام علي التوالي تكون النواه نشطه بالنسبة لاصدار الالكترونات واذا تحقق الشرط

$$(2) \quad {}^A_Z M > ({}^A_{Z+1} M + m_e)$$

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

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

فاذا تحقق الشرط 2 نجد أن الشرط 3 قد تحقق هو الآخر. لذلك فإن أي نواه نشطه بالنسبة لإصدار البوزيترونات تكون في الوقت نفسه نشطة بالنسبة لأسر الإلكترونات. 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 نشطة بالنسبة لإصدار البوزيترونات.

4.4 طاقة جسيمات بيتا

ذكرنا أن طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نظير معين تتخذ قيمة واحدة او قيما محده للطاقة. وأما بالنسبة لجسيمات β الصادرة عن أي نظير فإن 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 الناتجة تكون ثابتة ويمكن تحديدها بالعلاقة

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

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

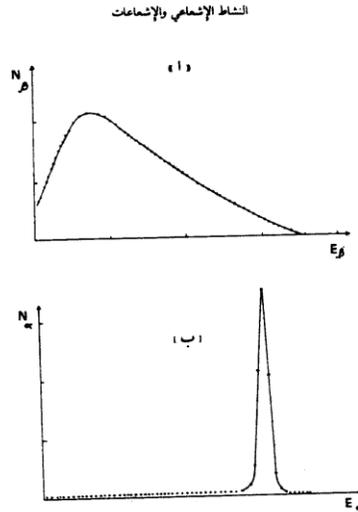
$$E = \left\{ \frac{A}{Z} M - \left(\frac{A}{Z-1} M + m_e \right) \right\} C^2$$

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

$$E = \left\{ \frac{A}{Z} M - \frac{A}{Z-1} M \right\} C^2$$

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

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



شكل (2-2) أ العلاقة بين عدد جسيمات بيتا وطاقاتها, ب العلاقة بين عدد جسيمات الفا وطاقاتها

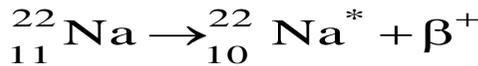
كذلك قد يحمل النيوتريينو المضاد طاقة التفكك كلها فتكون طاقة الإلكترون قريبة من الصفر. فعند قياس طاقة الإلكترونات الصادرة عن عدد كبير جدا من النويات النشطة ورسم العلاقة بين عدد الإلكترونات ذات الطاقة المعينة وبين طاقتها يمكن الحصول على منحنى شبيه بالمبين بالشكل (2-2 أ) ويعرف هذا المنحنى باسم طيف اشعة 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 عبارته عن طيف مستمر على عكس طيف جسيمات ألفا الذي يتخذ قيمة او قيمة محددة.

4.5 اشعاعات جاما Gamma radiation

في اغلب الاحيان تكون الأنوية الوليدة الناتجة عن تفكك ألفا أو تفكك بيتا أو الانوية الناتجة عن أي عملية نووية كالتفاعلات النووية 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 تنتقل النواة من الحالة المثارة إلى حالة أقل 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 المدار K لقربه من النواة فينطلق هذا الإلكترون تاركا الذرة وحاملا معه قيمة محددة من الطاقة وتعرف هذه العملية باسم التحول الداخلي .

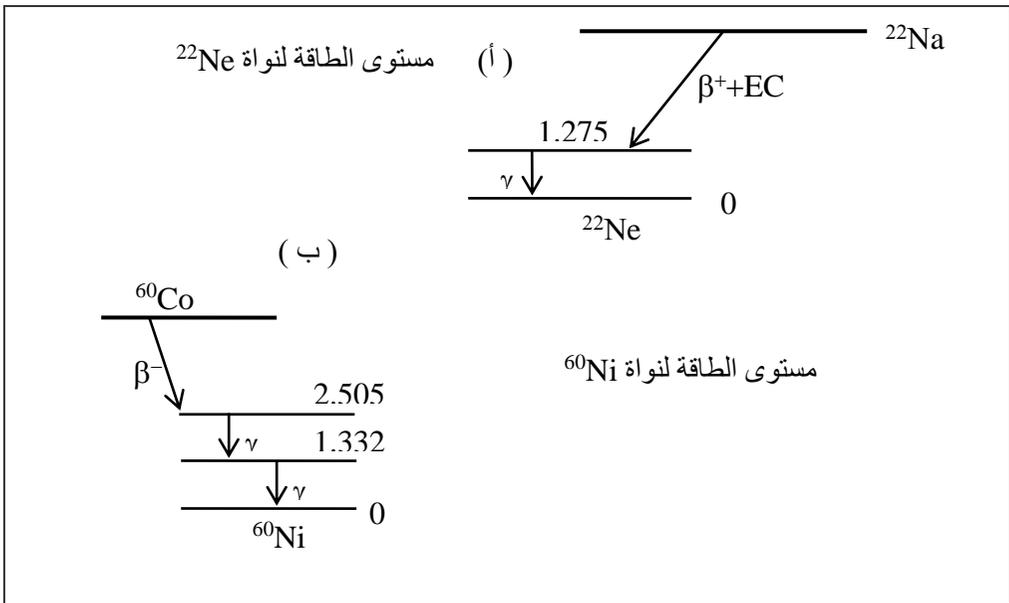
وتتميز الإلكترونات الصادرة عن التحول الداخلي بانها ذات طاقة محددة وذلك بخلاف الإلكترونات الناتجة عن تفكك بيتا التي يكون طيفها مستمرا كما هو بالشكل (2-2أ) وتجدد الإشارة الى أن ازالة الإثارة عن طريق إصدار اشعاعات كهرومغناطيسية (اشعاعات جاما) يمكن ان يحدث بانتقال النواة من الحالة المثارة مباشرة الي الحالة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



(والعلامة * معناها أن نواة النيون في حالة مثارة)



سبيل المثال فإنه 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 ميغا إلكترون فولت . ثم ينتقل النيون 22 من الحالة المثارة الي الحالة الارضية مع اصدار اشعاع جاما طاقته مساويه لطاقة الإثارة و يبين شكل (2-3 أ) مخطط لهذه العملية . ويشكل الكوبالت شكل (2-3 ب) مثالا للتحويل من الحالة المثارة الي الحالة الارضية على مراحل فعند اصدار نواة الكوبالت 60 للإلكترونات تتحول الي نواة نيكل 60 أي



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

و تكون نواة النيكل في الحالة المثارة الثانيه بطاقة اثاره مقدارها 2.505 ميغا إلكترون فولت . فنتنقل نواة النيكل 60 من هذه الحالة الي الحالة المثارة الاولى بطاقة اقل وهي 1.332 ميغا إلكترون 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 ميغا 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

$$E = E_i - E_f = h\nu$$

حيث E_i ترمز لطاقة الحالة الابتدائية للنواة E_f ترمز لطاقة الحالة النهائية h هو ثابت بلانك (6.63×10^{-34} جول . ثانية) ν تردد الإشعاع.

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

4.6 الأشعة 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 الأشعة وهما

4.6.4 الأشعة 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 كهرومغناطيسية 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 اثاره الإلكترونية 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.

4.6.5 الأشعة السينية (تناقصية)

عند حدوث انكباح شديد (أي تناقص شديد في السرعة) للإلكترونات - أو لأي جسيم مشحون سريع بصفة عامة - بسبب تفاعل هذا الإلكترون أو الجسيم المشحون مع المجال الكهربائي الشديد للذرة أو النواة تنطلق الطاقة التي يفقدها الإلكترون (أو الجسيم المشحون) بسبب تناقص سرعته في صورته 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) فتنتقل الأشعة الانكباحية.

5 قانون التفكك الإشعاعي

نفرض λ (لامدا) هو عبارة عن احتمال تفكك نواة معينة في الثانية وأن هذا الاحتمال صغير جدا أي أن $1 \gg \lambda > 0$. معنى ذلك أن احتمال تفكك هذه النواة خلال زمن قصير مقداره dt هو λdt , فإذا كان عدد النويات النشطة التي لم تتفكك بعد هو N فهذا 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 على العدد N وأخذ تكامل الطرفين مع اعتبار أن عدد النويات النشطة عند الزمن $t = 0$ هو N_0 نجد أن

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

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

5.1 الشدة الإشعاعية للعينه

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 عينه مشعة باسم الشدة الإشعاعية للعينه أي أن الشدة الإشعاعية للعينه هي

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

تعرف $A_0 = \lambda N_0$ بالشدة الإشعاعية عند اللحظة $t=0$ لذا نجد ان

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

عمر النصف ومتوسط العمر

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

عمر النصف (أو العمر النصفى) للنظير المعين هو عبارة عن الفترة الزمنية التي تنخفض خلالها شدته الإشعاعية إلى النصف . بمعنى آخر فإن عمر النصف هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد نوى العينة ويرمز له عموماً بالرمز $t_{1/2}$ لهذا فإنه بوضع

$$N(t) = \frac{N_0}{2}, t = t_{1/2} \text{ في العلاقة (2) نجد أن } \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \text{ أي أن}$$

وحيث أن وحدة الزمن هي الثانية فإن وحدة قياس ثابت التفكك λ هي $\frac{1}{\text{second}}$.

أما متوسط العمر لعينة مشعة والذي يرمز له عادة بالرمز τ (تاو) فهو عبارة عن مجموع اعمار الأنوية جميعاً في العينة مقسوماً على عددها ويسهل تحديده باستخدام العلاقة (2) كالآتي

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

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

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

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

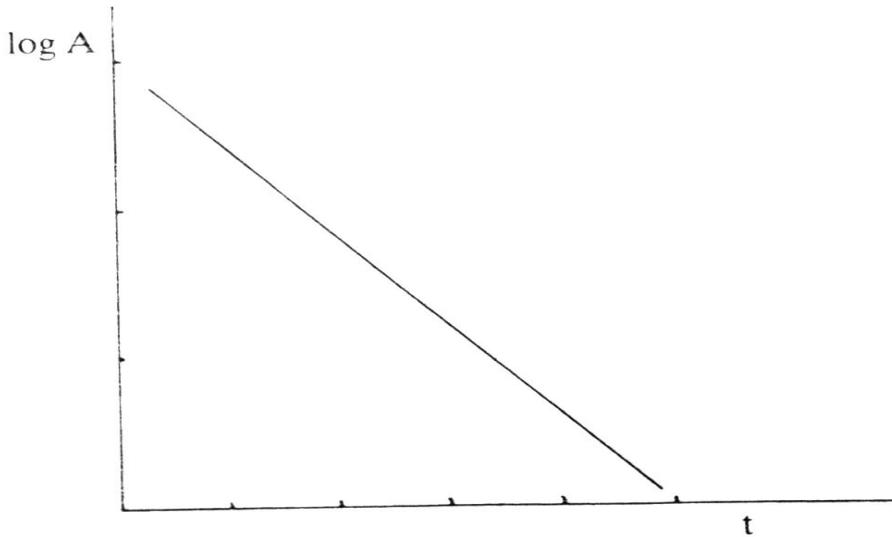
$$\ln \frac{A(t)}{A_0} = -\lambda t$$

حيث يمثل الرمز (ln) لوغاريتم الأساس الطبيعي (e=2.71) وعند استخدام لوغاريتم الأساس العشري تأخذ العلاقة الأخيره الشكل التالي :

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

وذلك لأن لوغاريتم أي عدد للاساس العشري = 0.4343 لوغاريتم العدد نفسه للاساس الطبيعي. أي ان

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



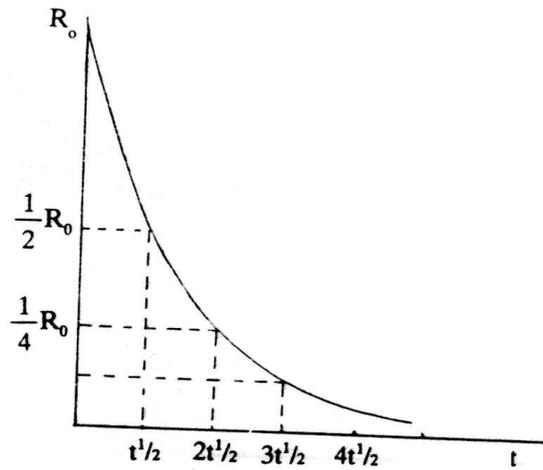
شكل 1-3 العلاقة بين الشدة الإشعاعية $\log A(t)$ والزمن t

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

مناسبة من عداد الإشعاعات (الجهاز المستخدم لتسجيل عدد الإشعاعات) ويتم قياس معدل العد R خلال فترات زمنية متساوية ويجب ملاحظة أن معدل العد (وهو عبارة عن عدد الجسيمات المسجلة 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 2-3 العلاقة بين معدل العد $R(t)$ 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_0 , $A(t)$ ويكون t هو الفارق الزمني المقابل بين النقطتين المختارتين .

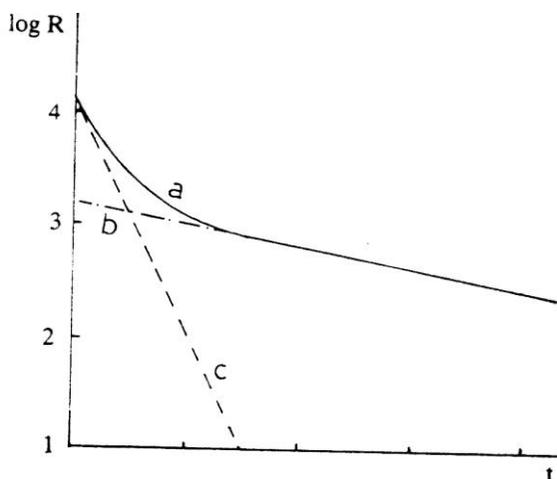
وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن تحديد عمر النصف مباشرة وذلك من العلاقة (4) فعند قياس معدل العد $R(t)$ كدالة من الزمن ورسم العلاقة بين $R(t)$ حيث $R(t) \propto A(t)$ والزمن نحصل على منحنى كالمبين في شكل (2-3) ومنه يمكن تحديد زمن عمر النصف $t_{1/2}$ مباشرة حيث انه عبارة عن الزمن الذي تنخفض خلاله شدة العينة الي النصف. ويلاحظ انه خلال فترتي عمر نصف تصبح شدة العينة $\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^2$ من الشدة الاصلية وخلال 7 فترات عمر نصف تصبح الشدة $\frac{1}{128} = \left(\frac{1}{2}\right)^7$ من الشدة الاصلية. وخلال 10 فترات تصبح الشدة $\frac{1}{1024} = \left(\frac{1}{2}\right)^{10}$ أي اقل من 0.1% من شدتها الاصلية وهكذا فانه بمرور الوقت تقل شدة العينة وتصبح قيمة مهملة 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 النصفى بين عدة ثوان وعدة سنوات, اما بالنسبة للنظائر التي يبلغ عمرها النصفى قيما عالية (كاليورانيوم -238 مثلا والذي يبلغ عمره النصفى 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 النصفى 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 عبارته عن ثابت يحدد نسبة عدد الجسيمات التي يسجلها العداد الي عدد جميع الجسيمات الصادره من العينة N يمكن تحديد ثابت التفكك وبالتالي حساب عمر النصف للنظير المعين اما بالنسبة للنظائر ذات العمر النصفى الصغير فتستخدم طرق أخرى لتحديد اعمارها النصفية .

5.3 تحديد العمر النصفى 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 النصفى 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 ان العينة تحتوي على خليط من نظيرين فقط ،



شكل 3-3 العلاقة بين لوغاريتم معدل العد $\log R$ 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 النصفى الأكبر، حيث ان النظير الآخر أسرع تفككا لصغر عمره النصفى , 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 هو c الذي يعتبر بمثابة خط التفكك للنظير الأقصر عمرا , وبتحديد الميل لكل مستقيم من هذين المستقيمين يمكن تحديد ثابت التفكك لكل نظير على حدة.

5.4 التفكك الإشعاعي المتتابع

عند تفكك النواة الأم الي نواة وليدة فإنه قد تكوّن 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 النصفى 1.6×10^3) الى الرادون 222, وتتفكك هذه الأخيرة (عمرها النصفى 3.82 يوم) الي نواة البولونيوم 218 التي تعتبر هي الأخرى مشعة (عمرها النصفى 3.05 دقيقة) , وهكذا تستمر العملية الي أن تصل في النهاية الى نواة الرصاص 208 المستقرة , 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 فإنه يمكن التعبير عن العملية كلها بالمعادلات الثلاث التالية:

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

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

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

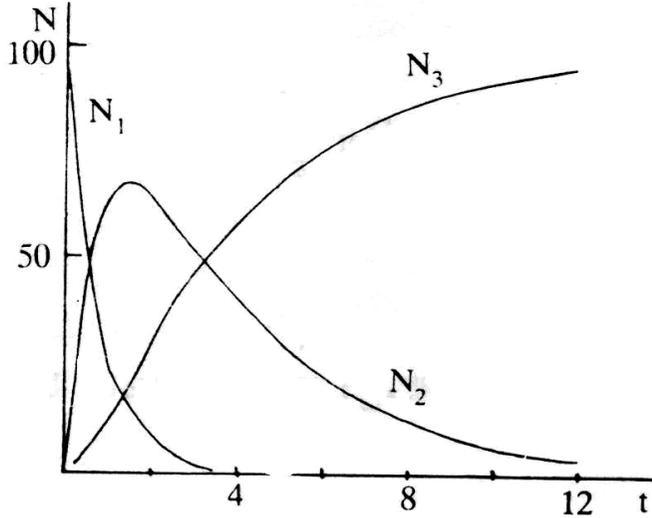
وتحدد العلاقة (9) معدل التفكك بالنسبة للذرات الام وذلك طبقا للقانون الاساسي للتفكك الإشعاعي وأما العلاقة (10) فتعني أن الذرات الوليدة تتكون بمعدل $\lambda_1 N_1$ وتتفكك بمعدل $\lambda_2 N_2$ في حين أن العلاقة (11) تحدد معدل تكوين الذرات الحفيدة المستقرة N_3 ويحل مجموعة المعادلات (9) حتى (11) فإنه يمكن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

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

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

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

وهذه العلاقات صحيحة اذا كان $N_{32} = N_{20} = 0$ عند لحظة الصفر اما اذا اختلف كل منهما عن الصفر فيصبح عدد الذرات الوليد هو الحفيدة كدالة من الزمن هو

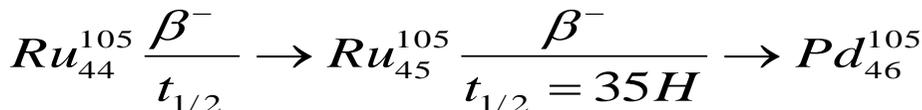


شكل 4-3 تغير كل من عدد الذرات N_1 ، N_2 و N_3 مع الزمن t لنظير الروثينيوم 105

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{-\lambda_2 t} \quad (15)$$

$$(16) \quad N_3 = N_{30} + N_{20} (1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_2 t}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right)$$

ويوضح الشكل (4-3) 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



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

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

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 النصفى 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 النصفى للنظير الوليد).

5.5 التوازن الإشعاعي

عموما التوازن بالنسبة لاي كمية فيزيائية يعنى ان هخذ الكية لا تتغير بالنسبة للزمن . فاذا طبقنا هذا التعريف علي جميع اعضاء سلسلة التفكك المتتابع فان هذا يعني عدم تغير كل من N_1, N_2, N_3 بانسبه للزمن ,

وبذلك فان شروط التوازن للتفكيك المتتابع هي

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

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

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

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

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

5.6 التوازن الابدي

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

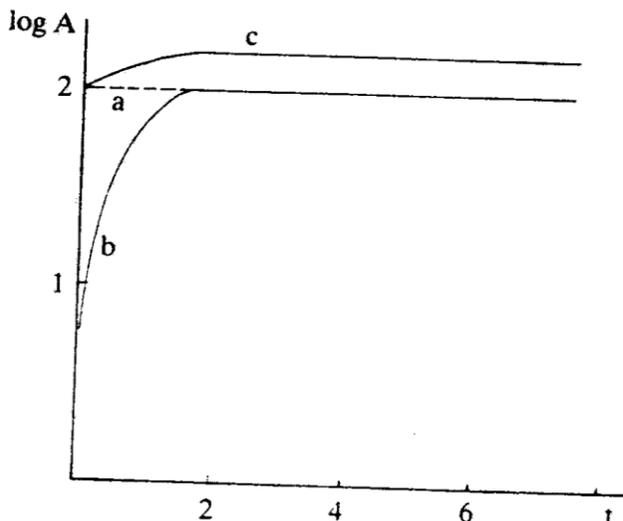
$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (20)$$

وتبين العلاقة (20) انه بزيادة الزمن t يقترب الحد $e^{-\lambda_2 t}$

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 النصفى كبير جدت النصفى كبير جدا) , 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 الأبدى

ويمكن استخدام التوازن الأبدى لقياس ثابت التفكك للنظائر ذات العمر النصفى الكبير وذلك باستخدام العلاقة (21) , ولهذا الغرض يجب معرفة ثابت التفكك - والنظائر الوليد ذى العمر النصفى الصغير و عدد ذرات النظير الأم ونمبة وجود النوى (الذرات) الأم مع النوى الوليدة بعد حدوث التوازن وبذلك يسهل تحديده.

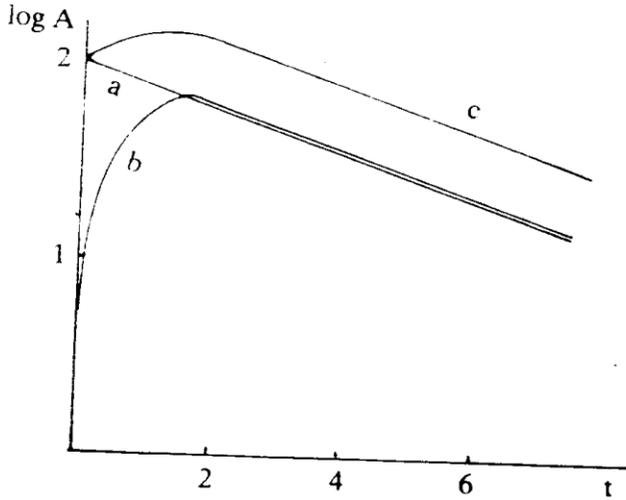
مثال ملح من املاح البورانيوم -238 وجد ان يحتوى على نسبة ضئيلة جدا من الرادبوم 226 وهذا الى الرديوم يتكون ننبجة للتفكك المتتابع لليورانيوم 238. فاذا كانت هذه النسبة هي عبارن عن ذرة واحدة لكل $10^6 \times 0.28$ ذرو يورانيوم فاذا علمت ان العمر النصفى للرادبوم هو 1670 سنة فما هو العمر النصفى لليورانيوم

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

$$= 10^9 \times 4.54 \text{ سنة}$$

5.7 التوازن 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 - للظير الوليد ولكن λ_1 ليس قريب من الصفر (أي أن العمر الافتراضي للظير الأم ليس كبيراً) . في هذه الحالة لا يمكن اعتبار $\lambda_1 = 0$ ومع ذلك فإن الحد الأسّي $e^{-\lambda_2 t}$ يقترب من الصفر أسرع من الحد الأدنى $e^{-\lambda_1 t}$ فإنه بعد مرور زمن كاف يحدث التوازن الانتقالي

وتتخذ العلاقة (12) الشكل التالي

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

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 .

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

وتبين هذه العلاقه ان الشده الاشعاعيه للنوي الوليده تصبح بعد فتره زمني 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.

5.8 وحدات قياس النشاط الاشعاعي

حتي وقت حديث جدا كانت الوحدة الأساسية لقياس الشدة الإشعاعية للعينة هي الكوري (Ci) و أجزاؤه وهي المللي 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 مساويه 3.7×10^{10} تفكك في الثانية وبذلك أصبح تعريف الكوري وأجزائه هو:

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

ميلي 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 أو ألفا) ويصاحب ذلك معظم الحالات وليس في كلها إصدار شعاع أو إشعاعات جاما . والوحدة العيارية الدولية الان للشده الاشعاعيه هي البيكريل (عبارة عن تفكك نووي واحد في الثانية) والبيكريل عبارة عن تفكك نووي واحد في الثانية . وبمقارنة البيكريل بالكوري نجد أنه وحدة صغيرة جدا . لذا تستخدم مضاعفات البيكريل وهي الكيلوبيكريل والميجابيكيريل وغيرها وقيمتها كالتالي :

بكريل واحد $1 = 10^0$ تفكك في الثانية

كيلوبكريل $10^3 = 10^3$ تفكك في الثانية

ميجابيكرييل $10^6 = 10^6$ تفكك في الثانية

جيجابيكرييل $10^9 = 10^9$ تفكك في الثانية

تيرابيكرييل $10^{12} = 10^{12}$ 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 الإشعاع المعرض له الانسان

6 مصادر التعرض الى الإشعاع

من الممكن تقسيم مصادر الإشعاع المسببة لتعرض البشر الى مصادر الإشعاع الطبيعية ومصادر الإشعاع الصناعية ومصادر الإشعاع الطبيعية المحورة صناعيا . وبالإضافة الى ذلك فان مصادر الإشعاع اما ان تكون مصادر خارجيه وهي تشمل الاشعه الكونية وتعتبر هذه المصادر ذات منشأ غير ارضي ومصادر الإشعاع 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.

6.1 النظائر المشعه الطبيعية

تقسم 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) سنة وتشمل هذه المجموعة اليورانيوم - 238

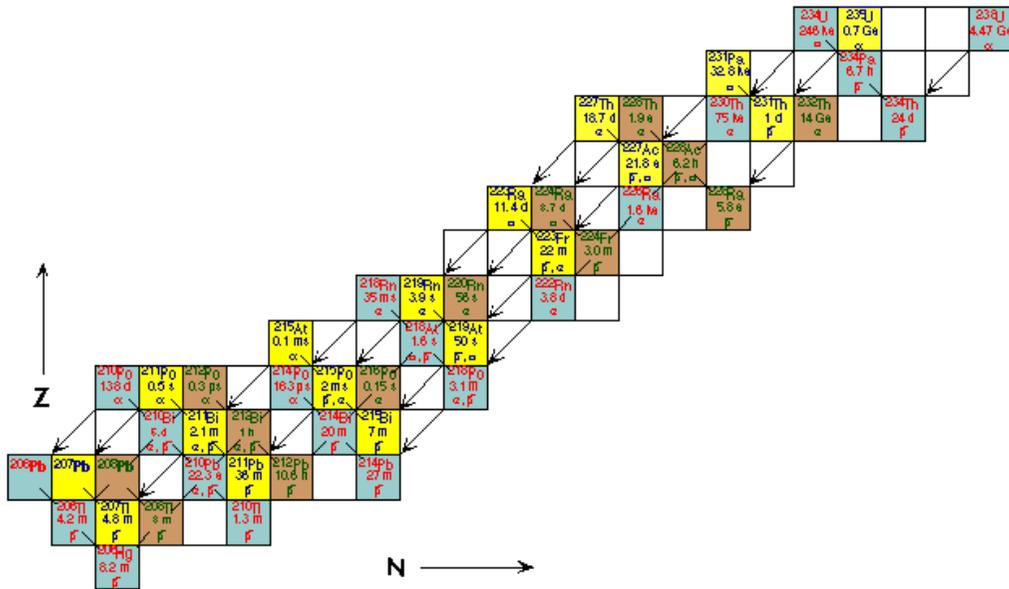
واليورانيوم 235 والثوريوم 232 والبوتاسيوم 40 والرايديوم 87 والقصدير 124
واللانثيوم 138 والسامريوم 147

وبعض النظائر المشعة القليلة الوجود جدا والقسم الثاني وهي النويدات المشعة التي
تنتج عن الاضمحلال الطبيعي او الانشطار للمجموعة الاولى ويكون عددها بالعشرات
وتتراوح اعمار النصف لها بين اجزاء من الثانية الى 1×10^5 سنة والمجموعة الثالثة
تشمل نواتج التفاعل بين الجسيمات النووية المشعة.

والاوساط البيئية مثل الهواء والماء والصخور ومن امثلة هذه المجموعة التريتيوم
والبرليوم - 7 والبرهيريوم - 10 والكربون - 15 والكلور - 16 التي تنشأ من التفاعل مع
الإشعة الكونية ذات الطاقات العالية ان بع العناصر تتكون نتيجة الاسر النيوتروني او
انها من منشأ غير ارضي كالكواكب الصغيرة والكبيرة .

6.2 النشاط الإشعاعي في قشرة الارض

ان النشاط الإشعاعي الذي في قشرة الارض يمثل النويدات المشعة ذات المنشأ
الارضى مثل البوتاسيوم 40 وكذلك العناصر المشعة التابعة لسلاسل اليورانيوم 238
الشكل والثوريوم 232 (الشكل (1-4)) وهي النويدات المشعة التي في قشرة
الارض خلال تاريخها الطويل



شكل 1-4 لسلاسل اليورانيوم 238 والثوريوم 232

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

6.2.1 الصخور البركانية

ويتعلق تركيز العناصر المشعة في الصخور البركانية بكمية السلكات كما ان قلوية التربة تحدد النشاط الإشعاعي فالصخور الحامضية ذات نشاط إشعاعي اعلي من الصخور الشديدة القلوية.

6.2.2 الصخور الرسوبية

عند تكسر الصخور فان اليورانيوم اما ان ينتقل مع بقايا الصخور او ان يذوب في المياه السطحية او المياه الجوفية وهو ينتقل بصورة رئيسية على شكل مركبات كربونية في القعر الرسوبي وفي هذه الحالة فان الترسبات التي في قعر المياه كالطمي 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 .

6.3 النشاط الاشعاعي في التربة

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 بركانية حامضيه وطمى .

6.4 النشاط الاشعاعي في الماء

يكون تركيز اليورانيوم والثوريوم في المياه $10^4 - 10^3$ مرة اقل من تركهما 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 تركيز مياه الابار في بلدان اخري فنلندا مثلا قد يصل الى $10^5 \times 2$ بكريل للمتر الكعب الواحد ويعتقد ان السبب في ذلك يرجع الى وجود بعض المناطق الموضعية الغنية باليورانيوم اما الراديوم 226 فان نسبته في المياه السطحية قليلة مقارنة بالمياه المعدنية ومياه الابار.

6.5 النشاط 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 والثورون ونواتج اضمحلالهما وبالدرجة الاساس النظائر المشعة

القصيرة العمر مثلالبونيوم - 218 والرصاص - 218 والبزموت - 224 وبينما تضيف النظائر المشعة الطويلة العمر مثل الرصاص - 210 والبزموت - 210 والبولونيوم - 210 اعداد قليلة في المائة وتقل تراكيز المواد المشعة المنبعثة ونواتج اضمحلالها القصيرة العمر كلما زاد 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 واكل 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 المصدر الرئيسي لليوانيوم 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 1.2 MBq لكل متر مكعب.

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

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

6.6 العناصر المشعة في الكائنات الحية

يكون النظير المشع البوتاسيوم - 40 واسع الانتشار في الكائنات الحية وهو الذي يحدد بالدرجة الاولى النشاط الاشعاعي في المواد الحية . يعتبر البوتاسيوم من العناصر الاساسية في الجسم ويخضع تركيزه فيه الي حالة تنظيم داخلي ومعدل تركيز البوتاسيوم في جسم الذكور البالغين هو جرامان لكل كيلو جرام من الجسم وبذلك يكون تركيز الفعالية هو 60 بكريل لكل كيلو جرام كما تبلغ مكونات النباتات من البوتاسيوم - 40 نحو

0.05% من الوزن الرطب تعتمد مكونات النباتات من اليورانيوم والثوريوم والراديووم الي درجة كبيرة على النشاط الاشعاعي للوسط المحيط وهذه النباتات لا تستطيع 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 3×10^3 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 3×10^2 بكريل لكل كيلو جرام من العظام ويقدر 3×10^4 بكريل لكل كيلو جرام في الانسجة الطرية . وتركيز الراديووم - 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 15 MBq منه وانه كذلك يتركز في الاجزاء التي تؤكل من الاحياء البحرية .

7 الأشعة الكونية

تعتبر الإشعاعات ذات الطاقات العالية التي تدخل الى فضاء الارض من الفضاء الخارجي من الإشعاعات الكونية الابتدائية وعندما تتفاعل هذه الأشعة مع نوى الذرات في الفضاء تتولد كذلك جسيمات ثانوية مصحوبة بأشعة كهرومغناطيسية وتعتبر هذه هي الأشعة الكونية الثانوية .

7.1 الأشعة الكونية الابتدائية

تتولد معظم الأشعة الكونية الابتدائية من مجموعة كواكب الارض وبالإضافة الى ذلك فان هذه الأشعة الكونية تأتي من الشمس عند حدوث الانفجارات الشمسية

7.2 الأشعة الكونية الناتجة من الكواكب

تتألف هذه الأشعة من بروتونات ذات طاقات عالية تدخل المنظومة الشمسية من الفضاء الخارجي بالإضافة الى ايونات الهيليوم التي تولف نحو 10% ونسباً قليلة من جسيمات ذات طاقات اعلى والكترونات وفوتونات ونيوترونات

7.3 الأشعة الكونية الشمسية الابتدائية

ان كميات كبيرة من الطاقة تتحرر من الجسيمات المشحونة التي تكون بالدرجة الاولى من بروتونات وجسيمات الفا نتيجة للانفجارات الشمسية ولكن هذه الجسيمات تكون ذات طاقات واطئة نسبياً.

7.4 الأشعة الكونية الثانوية

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

7.5 النويدات المتولده بفعل الاشعه الكونيه

وتشمل هذه النويدات المشعة التريتيوم و البرليوم - 7 والكربون - 14 وانصوديوم - 22 . ان المصدر الرئيسي للتريتيوم هو الغلاف الجوي وهو يتولد من تفاعل النيوترونات التي في الاشعه الكونية مع النايتروجين والاكسجين . ان كمية التريتيوم التي في الجو تقدر بـ بكريل وتتحوّل 99% منهذه الكمية الي ماء محتو على التريتيوم ويشارك هذا النوع من الماء في دووة المياه الطبيعية . ان النشاط الاشعاعي للمساحات المائية قبل حصول التفجيرات النووية كان يتراوح بين 200 الي 900 بكريل في المتر المكعب الواحد لمياه المحيطات . ان التريتيوم يدخل في النباتات المستعملة في الاكل على هيئة ماء محتو على التريتيوم او علي شكل مادة عضوية . ان تركيز البرليوم - 7 في المناطق الحارة يبلغ 3 مليكبريل في المتر المكعب من الهواء السطحي ونحو 700 بكريل في المتر المكعب الواحد من مياه الامطار ان طريق انتقال البرليوم - 7 الرئيس الي الانسان هو طريق تناول الخضروات الورقية . يتكون الكربون - 14 الطبيعي في اعالي الجو بواسطة التفاعل الذي يحفز بواسطة النيوترونات الكونية اما الصوديوم - 22 فان تركيزه في الجو يكون قليلا جداً .

7.6 المواد 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 انواع 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 الطبيعية في مراحل التعدين والطحن إلى هذا النشاط الإشعاعي .

إن معظم النظائر المشعة التي تطرح الى البيئة 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 وهناك بعض النظائر المشعة ذات عمر نصف طويل وهي سريعة الانتشار في البيئة مما يسبب انتشارها عالمياً

7.6.1 المواد المشعة الناتجة 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 المشعة 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 (0.1 GBq الي 02 GBq) لكل طن من اليورانيوم الخام

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

7.6.2 المواد 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 المشعة 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 بالاضافه الي اليورانيوم -235 واليورانيوم - 234 والثوريوم -234

7.6.3 المواد 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 الي تسرب المواد المشعة بطريقة الانتشار نتيجة وجود بعض التلف في جزء قليل من حاويات الوقود بالاضافة الي الصدأ الذي يحدث في مواد الهيكل ومواد حاويات الوقود .

وتكون لجميع المفاعلات انظمة معالجة 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 معالجة 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 التريتيوم ونواتج الانشطار ونواتج التآكل المنشطه . غازات الانشطار النبيلة, يوجد علي الاقل تسعة نظائر مشعة للكربتون واحد عشر نظيراً مشعاً للزنون تنتج من عملية الانشطار. ان لمعظم هذه النظائر عمر نصف قصير جدا (ثوان او دقائق) وتتحل قبل ان تنتقل بصورة ملموسة من الوقود .

تتحرر النفايات المشعة الغازية خلال عملية تنظيم التركيب الكيماوي 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 وهناك نظائر اخرى تكون موجودة بصورة ملموسة 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 ونسبتها تختلف بعضها عن بعض كثيرا وذلك لاختلاف زمن لاحتفاظ حسب نوع المفاعلات .

7.7 غازات 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 الرئيسية للإشعاع في محطات توليد القوى النووية حيث يعطي تعرضا خارجيا من مجال اشعة كما 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 الحالة 10.1 GW(e)a^{-1} PBq وهناك عدد اخر من غازات التنشيط المطروحة من المفاعلات المبردة بالغاز مثل الكبريت - 34 الذي يتكون من الكبريت الذي في الكرافيت المكون لقلب المفاعل وهو ينتج كذلك من الكلور - 35 الذي يوجد بصفة شوائب.

7.7.4 التريتيوم

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

وتبلغ كميات التريتيوم المقذوفة الى الجو من مفاعلات BWR المعدله $13.4 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ اما مفاعلات LWR فان القيمة المقدره تبلغ $630 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ وتقدر القيمة المعدلة لمفاعلات PWR $17.8 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ اما النفايات المشعة السائلة فان متوسط المطروح المعدل لعدة سنوات يبلغ $11.4 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لمفاعلات PWR أو $138 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لمفاعلات PWR .

اما المفاعلات البرده بالغاز فإنها تطرح $125 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ من التريتيوم معدلا سنوي ان اعلي تركيز للتريتيوم في النفايات المشعة السائلة هو المطروح من مفاعلات HWR وبمتوسط مقداره $1421 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$

7.7.5 الكربون-14

يعتبر ما يطرح من الكربون-14 مهما جدا وذلك لمعرفة نصفه الطويل 5730 سنة 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 الوقود وكذلك بواسطة الانشطار الثلاثي . ان الكرافيت يكون المصدر الرئيس للكربون - 14 في المفاعلات المبردة بالغاز والمهدئة بالكرافيت . ان انتاجه من ثاني اوكسيد الكربون المستعمل في التبريد يعطي اجزاء في المائة فقط من المجموع الكلي للمصادر الاخرى المولده للكربون -14 كما ان الكمية المطروحة من الكربون - 14 لمفاعلات LWR تقدر بـ $1.9 \times 10^{-11} \text{ TBq}[\text{GW}(\text{e})\text{a}]^{-1}$ وهو ينتج عن طريق التسرب من دورة التبريد الاولي التي تحوى فعاله تطرح الى الغاز المبرد نتيجة تآكل المهدىء (الكرافيت) وتقدر الكمية المطروحة من الكربون -14 من مفاعلات الماء الثقيل المعدل $10^{-11} \text{ TBq}[\text{GW}(\text{e})\text{a}]^{-1}$.

7.7.6 اليود

ينتج عنصر اليود المتطاير بفعل عملية الانشطار والكمية المنتجة لا تعتمد 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 وحتى المكونات من هذه النظائر لما هو مطروح وذلك لاختلاف طرائق معاملة النفايات . ان الكمية السنوية المطروحة من اليود لمفاعلات PWR تبلغ $5 \times 10^{-11} \text{ GBq} [\text{GW}(\text{e})\text{a}]^{-1}$ بينما يبلغ المطروح لمفاعلات BWR تبلغ $410 \times 10^{-11} \text{ GBq} [\text{GW}(\text{e})\text{a}]^{-1}$ ومفاعلات

LWR مقداره 13.1 GW(e)a^{-1} GWq في الولايات المتحدة الامريكية للسنوات 1979-1975

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

7.8 الجسيمات 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 في 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 التي في 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 $2.2 \text{ GBq} \text{ GW (e)a}^{-1}$ و لمفاعلات BWR الى الجو يبلغ $52.7 \text{ GBq} \text{ GW (e)a}^{-1}$ والجسيمات الفعالة من مفاعلات GCR يبلغ $1.0 \text{ GBq} \text{ GW (e)a}^{-1}$ بينما قد بلغت هذه الجسيمات $0.044 \text{ GBq} \text{ GW (e)a}^{-1}$ لمفاعلات HWR وللفاعلات السريعة من نوع فينكس (fast reactor phenix) مقدار $14.8 \text{ MBq} \text{ GW (e)a}^{-1}$

7.9 النفايات المشعة 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 الكهربائية لعدة سنوات

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

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

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

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

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

ان طرح اليود - 131 فى النفايات المشعة السائلة يبلغ نحو $14.7 \text{ Gpq[GW(e)a]}^{-1}$ لمفاعلات BWR اما مفاعلات PWR فان فعالية اليود كانت بمعدل $14.6 \text{ Gpq[GW(e)a]}^{-1}$ كما ان اليود - 131 المطروح مع النفايات المشعة السائلة يساوي بالمقارنة بما هو مطروح فى الجو فى مفاعلات BWR والبالغ $14.2 \text{ Gpq[GW(e)a]}^{-1}$ و $1.9 \text{ Gpq[GW(e)a]}^{-1}$ لمفاعلات PWR بينما يبلغ معدل طرح بقية نظائر اليود فى النفايات المشعة السائلة $3 \text{ Gpq[GW(e)a]}^{-1}$ لليود - 133 واليود - 135 فى مفاعلات BWR هنالك اختلاف واسع لنواتج التنشيط ونواتج الانشطار الذى فى 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.

7.10 المواد 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 كذلك للتبريد . ان مادة الوقود تترك حتي تضمحل جميع النظائر المشعة قصيرة العمر الى كميات غير مهمة (عادة اقل من 20 يوما).

7.11 النفايات 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 و Ru و Xe و Kr و C و H₃ و I 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 التشيع والخزن كزمن التبريد مثلا.

7.12 الرذاذ المشع

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

من رزاز الفا المعدل يقدر $10.4 \text{ GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ وبالإضافة الى ذلك فان معامل استخلاص الوقود تطلق رذاذا يحوي نويدات مشعة مطلقه لجسيمات بيتا الذي يحوي بصورة رئيسية 0 السيزيوم - 137 والسنترونسيوم -90 وقد يحوي كذلك Cs-134, Ce-144, Ru-106

7.13 النفايات المشعة السائلة

وتشمل هذه النفايات المشعة السائلة النويدات المشعة الناتجة من معامل استخلاص الوقود وتكون حاوية على فعالية الفا وفعالية بيتا والترينيوم والسنترونسيوم - 90 والرثينيوم - 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 لآخر 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 السنترونسيوم - _ 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% سنترونيوم-90 والباقي يمثل نويدات مشعة اخرى.

7.14 خزن وادم 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 موقته ولكن هناك نية للاستعمال حيث يتم مراقبة هذه النفايات وتسجيلها.

اما الردم فيعني أنه لا تبقى هنالك اية سيطرة على النفايات المشعة .ومن المفيد التمييز بين 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 المشعة المنخفضة والمتوسطة النشاط الاشعاعي

تعتبر البقايا الناتجة عن طحن اليورانيوم مثلاً على النفايات المشعة الصلبة ذات النشاط الاشعاعي الواطىء 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 غالباً 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 المشعة العاليه النشاط الإشعاعي

يوجد معظم الوقود النووي المشع 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 باتخاذ القرار المناسب لها حول طريقة معاملة هذا النوع من النفايات ففي فرنسا مثلا اتخذ قرار لتحويلها الى مادة صلبة حيث انشىء معمل لترجيحها 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 علمية حديثة حول الابحاث اللازمة لغرض تقدير الردم في المحيط وهناك دول متعددة تدرس الردم الجيولوجي اما في الاملاح او الصخور الصلبة مثل الكرانيت والبازالت وبالإضافة 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 والحبب 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 السلطات الوطنية 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 -129 والسيزيوم -135 والاككتيدات 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 الكيميائية مع المادة العازله مع الصخور الموجودة .

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

ينقل الوقود النووي غير المشع الي مواقع المحطات الكهرونووية من منشآت تصنيع الوقود وينقل الوقود المشع من مواقع المفاعلات الي منشآت استخلاص 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

7.15 منشآت البحوث النووية

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

8 مصادر الإشعاع الطبيعي المصنعه

تنشأ هذه المصادر الإشعاعية 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

يحتوي 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 اعاده توزيع المواد المشعة الطبيعية من باطن الارض الى مناطق مما يؤدي الى تغيير حقول الاشعاع الطبيعي ومن هذه النظائر المشعة البوتاسيوم - 40 واليورانيوم - 238 والرادسيوم - 226 والرصاص - 210 والثوريوم - 232 والراديوم - 228 وهي تكون مصاحبة للرماد الطائر

8.2 انتاج 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 .

8.3 استغلال الصخور الفوسفاتية

تستخدم الصخور الفوسفاتية بصورة رئيسية كمصدر للفسفور في الاسمدة الفوسفاتية . كما ان خامات صخور الفوسفات الرسوبية تحوي تراكيز عالية من اليورانيوم بينما تكون الخامات البركانية حاوية تراكيز قليلة من اليورانيوم . ان تعدين ومعاملة الخامات الفوسفاتية سوف يؤدي الى اعاده توزيع اليورانيوم - 238 ونواتج انحلاله على عدة منتجات تكون مصادر اشعاعيه ونواتج ثانوية ونفايات

للصناعات الفوسفاتية . تكون النفايات المشعة السائلة مصدراً مهماً للاشعاع كما ان الاسمدة الفوسفاتية تعتبر كذلك مصدراً للاشعاع عند استعمالها كاسمده في الزراعة . وبالإضافة الي ذلك فان النواتج العرضية قد تستعمل في صناعات الابنية وتكون مصدرا اشعاعيا فيها.

8.3.1 مصادر 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 المستنفذة بعد التعدين بركا لردم النفايات الناتجة من عملية التعدين

8.3.2 المصادر الاشعاعيه الناتجه عن الاستخدام 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 الاولييه حيث يتوقع وجود تراكيز عالية من اليورانيوم - 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 وخبزها واستعمال الصخور والاسمده الفوسفاتية .

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

ومن المتوقع ان يزيد تركيز سلسله اليورانيوم -238 في محاصيل الاغذية نتيجة تسميد التربة بالاسمده 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 الى نحو 25 بكريل في المتر المكعب بينما يقدر التركيز في الحليب الطبيعي بين 3-10 بكريل للمتر المكعب .

8.3.3 مصادر 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 بالاضافة للناسكن 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 900 بكريل 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 .

8.4 مصادر الاشعاع في السلع الاستهلاكية

من الممكن تقسيم المنتجات الاستهلاكية التي تحتوي على مواد مشعة الى خمسة اقسام بصوره عامه وهي:

8.5 الاجهزه ذات الارقام المضيئه

يستعمل الراديوم -226 والبروميثيوم -147 والترينيوم بصورة كبيره في صناعة اصباغ الارقام لغرض اضائة اجهزة قياس الزمن حيث يحول الاشعاع المنبعث الي ضوء كما ان اكثر الساعات اليدويه تكون حاويه الترينيوم بينما يستعمل البروميثيوم-147 والراديوم-226 اكثر من الترينيوم في الساعات المنضديه.

ان فعاليات الترينيوم والبرميثيوم-147 التي تنتج نفس الضوء المتوهج التي تنتجها KBq37 من الرادون -226 تقدر بـ TBq200 من الترينيوم و TBq6 من البروميثيوم -147 للساعات المصنوعه حديثا ونتيجه لظاهرة الانحلال الاشعاعي فان التوهج يقل نتيجة تلف المادة المتلائه خلال العمر الذي تستعمل فيه الساعه كما ان انتاج الساعات الحاويه علي الراديوم -226 قد توقف في بلدان متعدده .

ان معظم الساعات المضية ليلا المستعملة حاليا مطلية بالترينيوم اذ ان معدل الترينيوم في هذه الساعات يبلغ MBq37 للساعات اليدويه و MBq60 للساعات المنضديه . وتستعمل المواد الوهاجه كذلك في العلامات وارقام التلفونات .

8.5.4 الاجهزه الكهربائيه والالكترونيه

تحوي بعض مانعات الكهربائيه المستقره عناصر مشعه وتستعمل هذه المواد بصورة واسعة في الصناعة لتخفيف الشحنة الكهربائيه المتجمعه على بعض المواد حيث يقوم الأشعاع بتايين الهواء الملامس للجسام المشحونه وبهذا يسمح للشحنة بان تعادل . ان موانع الكهربائيه المستقره التي يستخدم فيها البولونيوم - 210 قد تصنع وتسوق لعامة الناس حيث تستعمل لازالة الغبار من المواد المختلفه ويحوي كل واحد من هذه المانعات نحو MPq20 للبولونيوم -210 هنالك مواد استهلاكيه لا تحتوي على مواد مشعه ولكنها تبعث الاشعة السينيه وذلك بسبب تعجيل الالكترونات ومثال شائع على ذلك هو اجهزة التلفزيون وكواشف الامتعه وغيرها .

8.5.5 كواشف الدخان

ان النظير المشع المفضل لهذه الكواشف هو الامريسيوم -241 وهنالك كواشف حريق تحوي مصادر مشعه مختلفه اخرى مثل الراديوم-226 والبلوتونيوم - 238

والكربتون - 87 والنيكل - 63 كمان 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

8.5.6 السيراميك والادوات الزجاجيه

يكون استعمال اليورانيوم في المنتجات الاستهلاكية اما للون او لكثافته العاليه . كما ان الثوريوم يستعمل في بعض انواع الاوعية وفي بعض العدسات الضوئية . تحوي بعض العدسات الضوئية على نحو 30% بالوزن من اليورانيوم والثوريوم وبالإضافة 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 جرام للنشاط الاشعاعي المنبعث من زجاج العدسات حداً أقصى للنظائر المشعة اكنتيوم -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 ماده . ومن هنا فان تاثير الاشعاع علي ماده يعتمد علي عاملين :

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

ب - طبيعة ماده 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 المادة وتقاس بالرونجن (R)

(2) جرعة الامتصاص Absorbed dose

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

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

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

8.6 الرونتجن (R)

يبني تعريف الرونتجن علي التاين الناتج للهواء بفعل الالكترونيوات المنطلقه نتيجة لتفاعل الفوتون مع الهواء , وينطبق هذا التعريف فقط علي اشعاعي γ , X وبالتالي يمكن تعريف الرونتجن علي انه كمية أشعة x او اشعة γ التي تنتج وحدة شحنة كهروستاتيكيه / 0.001293 جرام من الهواء (أو 1 سم³ من الهواء عندل معدل الضغط ودرجة الحرارة الطبيعيين) وبصوره اخري فإن :

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

ويمكن حساب كمية الطاقة الممتصه عند التعرض لرونجن 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 لرونجن واحد يؤدي الي امتصاص كميه من الطاقه تعطي بالعلاقه :

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

$$= \frac{33.7 \times 1.6 \times 10^{-12}}{4.8 \times 10^{-10}} = 0.108 \text{ erg} / \text{Cm}^3$$

$$(2) = \frac{0.108}{0.001293} = 87 \text{ erg} / \text{g} = 0.87 \times 10^{-2} \text{ j} / \text{kg}$$

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 :

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

$$= 10^{-2} \text{ j/kg} \quad (3)$$

لاحظ انه عند استخدام هذه الوحدة يجب تحديد نوع المادة 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 لرونجن واحد يؤدي لامتصاص كمية من الطاقه قدرها 0.87 راد .

أما إذا كان الوسط المتص للاشعاع هو الماء فقد وجد رونتجا واحداً يؤدي الي امتصاص كميته من الطاقه قدرها 0.97 راد (وذلك عندما يكون الاشعاع هو اشعة γ , X وبتاقه 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 (وبتاقه قدرها 30 ك . أ .ف)

يؤدي الي امتصاص جرعه قدرها 4.32 راد

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

$$1 \text{ GY} = 100 \text{ rad} = 1 \text{ J/kg} \quad (3)$$

8.8 حساب الجرعات الإشعاعية:

لنفترض ان لدينا مصدرا مشعا يعطي فيضا من الفوتونات عند نقطه معينه قدره

\emptyset فوتون /سم² ولنفترض ان طاقة الفوتون الواد تساوي E_γ وتكون الطاقه المحموله

بهذه الفوتونات تساوي $\emptyset E_\gamma$

ويعطي معدل امتصاص الطاقه بالمقدار

$$E_\gamma \mu_a \text{ meV/Cm}^3 \text{ s}$$

حيث μ_a هو معامل الامتصاص الخطي ويساوي معامل الاضعاف الكلي مطروحاً

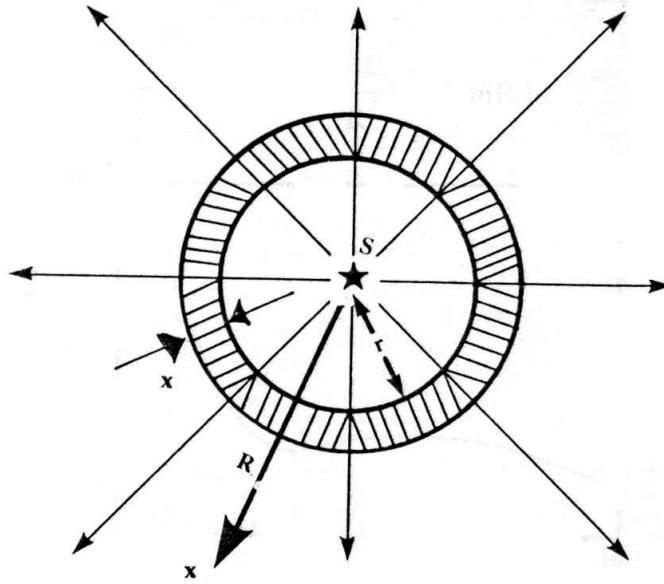
منه معامل كمبتون فإذا كان الوسط الممتص هو الهواء فإن الجرعة الممتصه DR

تعطي بالعلاقه

$$(4) \quad DR = \emptyset E_\gamma \mu_a / 7.1 \times 10^4 \text{ R/S}$$

حيث ان التعرض لرونجن واحد يؤدي الي امتصاص كميه من الطاقه قدرها

$$7.1 \times 10^4 \text{ MeV/cm}^3 \text{ بواسطة الهواء}$$



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:

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

وهذا هو قانون التربيع العكسي حيث ضربت الفعالية 3.7×10^{10} لتعطي عدد الفوتونات المنطلقة / ثانية. لاحظ أن الفيض ϕ هو عدد الجسيمات المنطلقة 2سم /ث فإذا ما وضع جسم سمكه X ومعامل امتصاصه μ بين المصدر ونقطة القياس شكل () فإن الفيض يعطى بالعلاقة.

$$\phi = \phi_0 e^{-\mu x}$$

حيث ϕ_0 هي الفيض قبل وضع المادة الممتصه في حالة الأشعة غير الضيقة فإننا يجب أن نأخذ في الاعتبار عامل التراكم (انظر تفاعل الاشعه مع ماده) والذي يرمز له بالرمز (B) وهو دالة في معامل الامتصاص (μ) مسافة القياس (r) وينتج ان :

$$\phi (r) = \phi_0 B(\mu)r e^{-\mu x}$$

ويمكن أن يعطى B بالعلاقة

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

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

$$(8) \quad \phi = \frac{3.7 \times 10^{10}}{4\pi R^2} A B e^{-\mu x}$$

وينتج أن الجرعة الممتصة DR تعطى بالعلاقة :

$$(9) \quad DR = \frac{3.7 \times 10^{10}}{4\pi R^2} A B E_{\gamma} \mu_a e^{-\mu x} \text{ MeV} / \text{CM}^3 . \text{S}$$

A هي فعالية المصدر بالكوري

$E_{\gamma}(\text{Ci})$ 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:

$$(10) \quad DR = \frac{3.7 \times 10^{10} A B E_{\gamma} \mu_a}{4\pi R^2} \text{ MeV} / \text{CM}^3 . \text{S}$$

وتعطى بالرونجن / ث (باستخدام معادلة (4) حيث

$$DR = \frac{3.7 \times 10^{10} ABE_{\gamma} \mu_a}{7.1 \times 10^4 \times 4\pi R^2} RS$$

$$(11) \quad = 4.146 \times 10^4 \frac{ABE_{\gamma} \mu_a}{R^2} R/S$$

ومن المناسب التعبير عن هذه الجرعة بوحدة ميلي رونتجن/ساعة وينتج ان

$$(11) \quad DR = 1.51 \times 10^{11} \frac{ABE_{\gamma} \mu_a}{R^2} mR/hr$$

حيث (μ_a) هي معامل الامتصاص الخطي للهواء (CM^{-1}) $3.7.3 \times 10^{-5}$ وبالتالي يمكن كتابة معادلة (11) في الصورة الآتية

$$(12) \quad DR = 5.2 \times 10^6 \frac{ABE_{\gamma}}{R^2} mR/hr$$

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

$$(13) \quad DR \approx 6 \times 10^3 \frac{ABE_{\gamma}}{f^2} mR/Hr$$

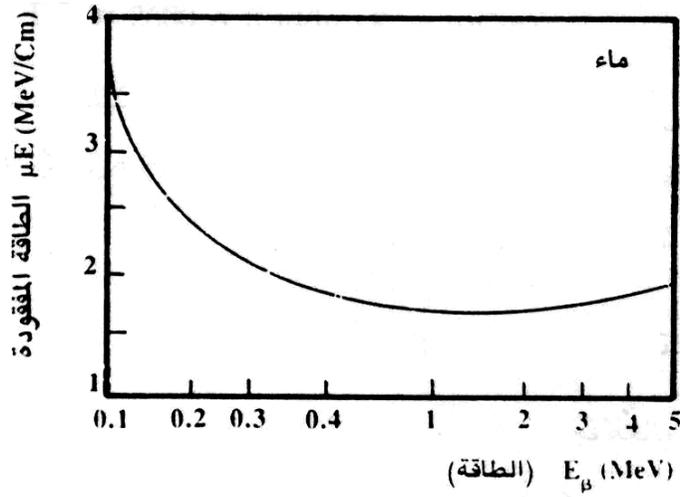
حيث: f هي المسافة بين المصدر ونقطة القياس معبرا عنها بالاقدم . واذا ما اخذنا الجرعة الان بالرونجن بدلا من mR , ينتج ان:

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

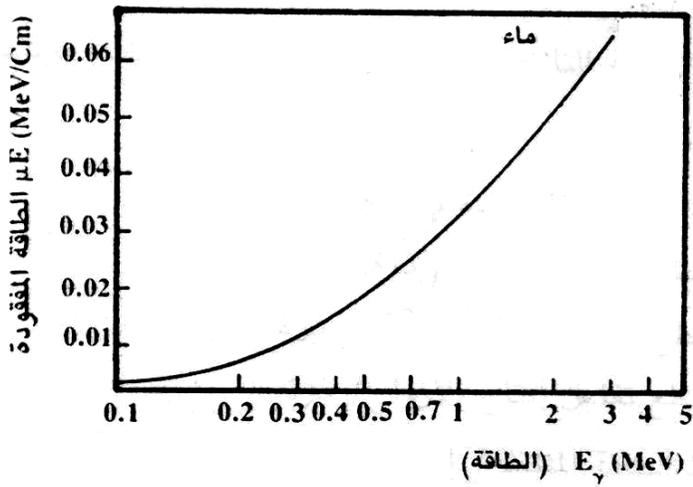
وعلى بعد قدره قدم واحد فان جرعة الامتصاص تؤدي الى العلاقة البسيطة :

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

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 (1) الطاقة المفقودة بواسطة جسيمات β



شكل رقم (2) الطاقة المفقودة بواسطة أشعة γ

ويمكن حساب الجرعة الممتصه في الماء حيث نجد ان :

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

حيث نعلم ان ا سم³ من الماء يعادل ا جم من الماء ويمكن اختصار المعادلة السابقة في الصورة:

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

حيث :

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

حيث ان 1 rad = 100 erg/ g.

فانه بقليل من الحسابات يمكن استنتاج ان:

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

يبين قانون التربيع العكسي انه كلما صغرت قيمة R فان 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 ¹⁹⁸AU 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 $E_{\gamma} \mu_a$ تساوي 0.013

انظر شكل وبتطبيق معادلة

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

ينتج ان:

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

$$= 0.0024 \text{ Rad/hr}$$

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

$$E = 0.32 \text{ mev}$$

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

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

$$= 0.21 \text{ Rad/hr}$$

فاذا ما كانت R الان صغيرة جدا (وذلك عند لمس المصدر باصابع اليد) فلنضع هذه القيمة مساوية 3mm 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 الاقصى 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 تأثير 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 لاشعاع ضيق من الاشعاع ، وذلك عند معرفة الفيض الابتدائي

8.8.7 الجرعات الناتجة عن اشعاع γ تعطى الجرعه بالعلاقه:

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

حيث $D_{\gamma}(E)$ هي الجرعة الناتجة عن فوتون واحد/سم² مقاسه بوحدات م.ا.ف/جم N_i عدد ذرات العنصر الموجودة في اجم 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 الالكترتون 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} : تساوي E حتم E هي طاقة الفوتون الساقط

$$(م.أ.ف) \text{ أما } f_{pp} \text{ فتعطي من العلاقة } f_{pp} = E - 2mc^2 :$$

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

f_c تعطى بالعلاقة:

$$(18) \quad f_c = E \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_c}$$

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

8.8.8 الجرعات الناتجة 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 بين 0.001, 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 و النسيج الحي طاقتها عن طريق التاين واثارة الجزيئات وذلك كما يحدث في بينما تفقد الانوية المرتدة بحالة الالكترونات الثانوية الناتجة عن اشعة البطيئة طاقتها عن طريق التصادمات الذرية ولكن تأثير هذا التفاعل على

النسيج الحي صغيره نسبياً وقد بينا في ما سبق ان اقصى 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 :

$$D_n(E) = E \sum f_i N_i \sigma_i(E) \quad (21)$$

حيث E هي طاقة النيوترون وتقع بين 0.1، 20 م.أ.ف F_i هي متوسط الطاقة التي يفقدها النيوترون / تصادم σ_i هي مساحة مقطع التصادم المرن N_i . هو عدد الذرات الموجودة في المادة / جم . ونندر D_n بوحدات م.أ.ف/ جم . وقد وجد ان 70-90% 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 $N(n,p)^{14}C$ 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 الحالة حوالي 10^{-3} جم /سم²

8.8.9 عامل 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 قيم عامل التراكم (B) لنيوترون سربع كداله في طاقته. بوضح الجدول بان فيم (B) تظل ثابتة تقريبا للطاقات الثلاث الاولى. بينما نجد ان هناك زياده كبيره في هذه القيم عندما نساوي طاقة النيوترون 5ك.أ.ف. ويرجع ذلك الى تاثير النيوترونات الحرارية.

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

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

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 بالروتجن R لكل ساعة من مصدر فعاليته كوري واحد موجود في الهواء وعلى بعد قدره متر واحد من المصدر. وبالتالي يمكن عن طريق معرفة K حساب جرعة الامتصاص عند اية مسافة R من مصدر، اياً كانت فعاليته A

$$DR = KA / R^2 \quad (22)$$

حيث A هي الفعالية بالكوري (Ci). R هي البعد عن المصدر مقدراً بالامتار (m) ويبين جدول رقم (1) قيم المعامل k لبعض العناصر المشعة المستخدمة كثيراً في الطب الاشعاعي. 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 بالعلاقة

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

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

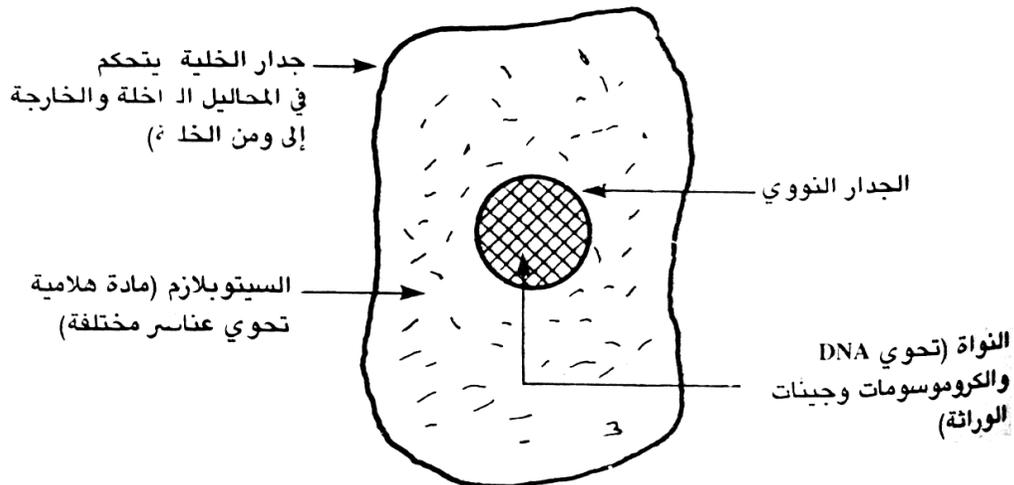
جدول (2) قيم K لبعض العناصر المشعة

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 -rays 0.54
co-60	5.25y	1.32
zn-65	245d	x-rays 0.50
		γ -rays 0.30
As-76	24.5hr	0.24
Br-82	36hr	1.56
Kr-85	10.6y	0.0021
Sb-123	60d	0.98
I-125	60d	x-rays 0.50
		γ -rays 0.004
I-131	8.05d	0.22
I-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-rays 0.11
		γ rays 0.016

التاثير الحيوي للاشعاع:

9 تركيب الخلية الحيه

تتكون أجسام الكائنات الحيه والبشر من وحدات صغيره هي الخلايا وتتركب بدورها من نواة مركزية يحيط بها سائل يعرف بالسيتوبلازم الذي يحاط هو الآخر 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 العملية فيها كما وتحتوي النواه علي الكروموسومات التي هي عباره عن تركيب خيطي يتكون من جينات الوراثة , وتحتوي الخليه البشريه عموما علي 46 كروموسوم وتتركب الجينات من حائض DNA (حمض دي اوكسيريبونيوكلريك) 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 الميوتيكية mitotic

وهي الخلايا العادية في جسم الانسان . وفي التكاثر الميوتوسيس تنقسم الكروموسومات طولياً , وبذلك بتضاعف عددها وتحول الخلية الواحدة الى خليتين كل منهما تماثل الخلية الاصلية2 .) في التكاثر الميوسيسي meiosis يتم انقسام الخلية 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 الخلية:

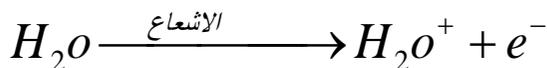
يتعرض الانسان لضروب مختلفة من الاشعاع كالضوء والحرارة . ولكن تعرضه للاشعاع النووي تنتج عنه اثار خطيرة على صحته . والفرق الوحيد بين الاشعاع النووي والاشعة المعروفة كالضوء والحرارة في ان الاول ذا طاقة عالية كافية لتايين جزيئات المادة . ففي حالة تايين الماء - الذي يتركب معظم الخلية منه - تنتج تغيرات جزيئية وتكون مواد كيميائية جديدة قد تؤدي الى تخريب المادة الكروموسومية . ويؤدي ذلك الى تغيير في تركيب ووظيفة الخلية . عند تعرض مادة ما للاشعاع فان الاشعاع يفقد طاقة تمتصها المادة المعرضه له مما قد يؤدي الى تايين 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 كميته الطاقه الكليه الممتصه ومعدل الجرعه وهو معدل امتصاص هذه الطاقه .

تحدث نتيجة لتعرض جسم الانسان للاشعاع مجموعة مختلفة من التأثيراتالمباشرة وغير المباشرة . ولا تعتمد هذه التأثيرات فقط على التركيب الذري للماده التي امتصت الاشعاع ولكن ايضا على تركيبها الجزيئي والتكوين البلوري لها وطبيعة المادة المحيطة بها. قد يؤدي التايين الناتج للذرات والجزيئات الى تحطيم الروابط الكيميائية او تكوين اخرى جديدة . بينما تؤدي الطاقة الممتصة بواسطة جزيء معقد الى اثاره 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 الي انتشارات جزيئية سريعة . كما لوحظ ان الكثير من التفاعلات ينتج عنها ذرات ثانوية تنشأ 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 الي حرارة اي الي طاقة اهتزازية لتلك الذرات . مما ينتج عنه ائتلاف الكائن الحي وذلك اذا كانت الجرعة الممتصة كبيرة . وقد تحدث بعض هذه التأثيرات بعد عدة سنوات من التعرض للاشعاع . وقد تظهر كل التفاعلات السابقة على شكل اعراض سريرية كأمراض الاشعاع او الكاثرأكتا او علي المدى البعيد قد تظهر بعض الاعراض السرطانية . كما ويمكن ان يحدث ايضاً ائتلاف للكروموسومات الوراثية تنتج عنه اثار وراثية . والتفاعلات التي تنتج عنها اعطاب اشعاعية هي تفاعلات معقدة ولكن يمكن ان تحدث على مراحل اربع هي:

9.2.1 المرحلة الطبيعية الابتدائية :

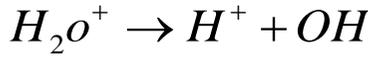
وهنا تمتص الطاقة بواسطة الخلية وينتج التاين , ويستغرق ذلك فتره قصيره جداً حوالي 10^{-16} ثانية , في حالة الماء يؤدي التاين الي تكوين ايونات موجبة وسالبة حسب المعادله



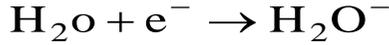
9.2.2 المرحلة الكيموفيزيائية :

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 :

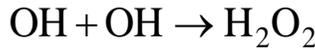


بينما تلتصق الالكترونات بجزئيات الماء المتعادله والتي تتحلل بعد ذلك كما يلي:



مما سبق يتضح ان نواتج التفاعل هي H , OH , OH^- الايونات H^+ , OH^- توجد في الماء تحت الظروف الطبيعية ولكن بنسبة قليلة . اما النواتج H , OH 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



9.2.3 المرحلة الكيميائية :

وتستمر عدة ثوان . وهنا يحدث تفاعل بين نواتج التفاعل وجزئيات الخلية الحية . وتهاجم الراديكالات الحرة والعوامل المؤكسدة الجزئيات المعقدة التي تكون الكروموسومات . وربما تلتصق مع هذه الجزئيات او تسبب تحطما لسلاسل الجزئيات . حيث نجد انه في حالة الاشعاع ذي التأين النوعي الصغير (كاشعاع γ) فان المكونات الناتجة عن تحلل الماء (OH, H) اقرب الى بعضها البعض من النواتج OH, OH أو H, H الناتجة عن تحلل جزئيين 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 Fe^{++} الموجوده في الدم ليكون ايونات الحديد Fe^{+++} وذلك وفق التفاعلات التالية:



9.2.4 المرحلة الحيوية :

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

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 التأثيرات المختلفة للاشعاع علي جسم الانسان . وتنقسم هذه التأثيرات 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 التأثيرات 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

الإشعاع . ولأن خلايا السرطان تنمو باضطراد فإنها أكثر عرضة من غيرها للإصابة بأمراض الإشعاع أيضاً مثلها في ذلك مثل الاجنة والأطفال الرضع الذين هم أكثر عرضه للإصابة من الكبار. وقد يؤدي التعرض للإشعاع إلى تجمع الماء في العين وتكون الكتل الكتل كما ويمكن أن يؤدي التعرض للإشعاع إلى إثارة تغيرات وراثية تنتج عنها طفرات وراثية تؤدي إلى مولد الكثير من البشر المصابين بعاهاات أو تشوهات خلقية وذلك لأنه يمكن زيادة معدل الطفرة بالحرارة أو بالطرق الكيميائية أو عن طريق الإشعاع . وتشابه تلك الطفرات الناتجة من الإشعاع الطفرات الطبيعية . ويعتقد أن معدل حدوث هذه الطفرات يتناسب مع مقدار الجرعة الممتصة . وليس لتلك الجرعة حد أدنى كما ولا يوجد علاج مناسب لذلك أيضاً. وقد لوحظ أن الجرعة التي قد تضاعف معدل الطفرة تتراوح بين 25,100 رام.

جاءت هذه المعلومات المحدودة عن تأثير جرعات الإشعاع الكبيرة على جسم الإنسان في الدراسات التي أجريت على ضحايا قنبليتي هيروشيما ونجازاكي قبيل انتهاء الحرب العالمية الثانية . كما وتم تجميع بعض المعلومات من الحوادث العارضة الناتجة عن استخدامات الطاقة النووية والإشعاع . كما ويوجد هناك نوعان من التعرض للإشعاع.

9.3 التعرض الحاد للإشعاع: Acute Exposure

وهنا يتم تعرض مفاجيء للإشعاع يستمر لمدة قصيرة . ويحدث ذلك عند التعرض للإشعاع الناتج عن انفجار نووي كالقنابل النووية . وبذلك تنتج جرعة كبيرة جداً. كما ويمكن أن يتعرض الإنسان لإشعاع حاد عند العلاج بالإشعاع حيث يتلقى المريض جرعات محددة من الإشعاع . ويبين جدول رقم (1) تأثير جرعات الإشعاع على جسم الإنسان.

9.4 التعرض المزمن للإشعاع Chronic Exposure

وهنا يحدث تعرض دائم للإشعاع وذلك على مدى فترات زمنية طويلة . مما يؤدي إلى تراكم كمية كلية من الجرعات الإشعاعية . تتعرض الأحياء عموماً وباستمرار لمعدل منخفض من الإشعاع الناتج عن الأشعة الكونية أو عن المواد المشعة طبيعياً أو المواد

المحضرة صناعياً. وكذلك للاشعاع الناتج عن الاستعمالات الطبية للاشعاع X في التشخيص وفي العلاج وقد لوحظ ان بعض المناطق في العالم معرضة لمعدلات من الاشعاع الطبيعي اكبر من غيرها. مثل ايطاليا والهند والبرازيل والنمسا. وقد وضع مقياس عالمي يحدد اقصى قيمة للجرعة الاشعاعية المسموح بها ويبين جدول رقم (2) مصادر الاشعاع المزمّن والجرعات المسموح بها.

جدول رقم (1) مصادر الاشعاع المزمّن والجرعات المسموح بها

الجرعة (رام)	الاعراض السريرية المحتملة
0-25	لا يلاحظ شئ
25-100	تغيير وتأثيرات بسيطة في الدم دون مشاهدة اعراض اخرى.
100-200	يحدث قيئ خلال 3 ساعات من التعرض للاشعاع وذلك لحوالي 5-50% من الاشخاص المعرضين للاشعاع . كما يحدث شعور بالاعياء وفقدان للشهية. كما يحدث تغير متوسط للدم واصابات مختلفة للجهاز الدوري. هذا ويمكن ان يتم الشفاء من جميع الحالات السابقة خلال بضعة اسابيع
200-600	يعاني جميع المعرضين لجرعات اشعاعية اكبر من او تساوي 300 رام من القيء وذلك خلال ساعتين او اقل من التعرض للاشعاع . كما تحدث تغييرات خطيرة للدم مصحوبة باعراض التلوث ثم يتساقط الشعر بعد اسبوعين عند تلقي جرعات اكبر من 300 رام . ويمكن ان يتمثل للشفاء 100-20% من مجموع الاشخاص المعرضين لهذه الاشعاعات . وذلك خلال فترة زمنية تمتد من شهر الى سنة.
600-1000	تحدث مجموعة من الاعراض وذلك خلال ساعة واحدة من التعرض للاشعاع . حيث تبدأ اعراض القيء والتغيرات في الدم والتلوث . بينما يتم تحطم كريات الدم الحمراء ويتساقط الشعر. ويلاقي 100-80% من مجموع المصابين حتفهم الاكيد وذلك خلال شهرين من تعرضهم للاشعاع . اما الذين كتبت لهم النجاة فسوف يبرأون بعد فترة زمنية طويلة . ولكن يبقى الخطر الاشعاعي كامنا في انتظار أجيالهم حيث تتأثر الخلايا التناسلية وبذلك تولد اجيال ملوثة بالإشعاع

جدول رقم (2) مصادر الاشعاع المزمّن والجرعات المسموح بها

الجرعة (ملليرام/سنة)	مصدر الاشعاع المزمّن
41	أشعة كونية (عند سطح البحر)
22.8	أشعة y (من الصخور – والتربة- وغيرها)
انويه مشعه داخل جسم الانسان	
16	(بوتاسيوم-40) $^{40}_{14}\text{K}$
2	(كربون-14) C
4	الغبار النووي عام 1970
0.003	المفاعلات النووية
72	التشخيص الطبي

الجرعات السابقة المسموح بها تمثل الحد الأدنى 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 100 و500 رام وبين جدول رقم (3) الحد الاقصى للجرعات المسموح بها (MPD) لمختلف اعضاء جسم

الانسان ، وذلك للعامة وللأفراد 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 التأثير على كل من طاقة النيوترون وتركيب المادة المعرضة للاشعاع .

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

العضو او النسيج	الجرعات المسموح بها للعامة وللعاملين في حقول الاشعاع المختلفة	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 او 30رام /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 سنه - 15رام/سنه	1.5رام/سنه
النساء الحوامل	0.5رام /9شهور يستحسن عدم التعرض للاشعاع	

لا يسمح بتعرض الاطفال للاشعاع باي حال من الاحوال

10 تطبيقات 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 .

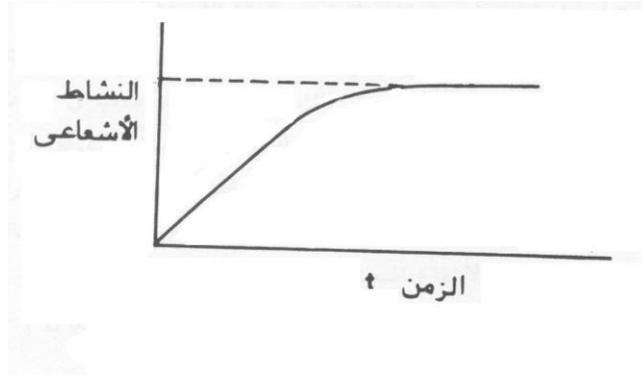
10.1 التصوير الاشعاعي : radiography

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 تقريبا 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 السينية إلا ان النظائر المشعة مثل نظير الكوبالت - 60 (عمر النصف 5.27 عام) والذي يصدر اشعة جاما ذات طاقة 1.17 م.أ.ف و 1.33 م.أ.ف يعتبر بديلاً مناسباً نظراً لقلّة تكلفتة وسهولة انتقاله واستغنائاه عن أية وصلات كهربائية مقارنة بأجهزة توليد الاشعة السينية , إلا انه مما يحصر استخداماته في حدود ضيقة 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 .

10.2 التشخيص باستشفاف 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 ضئيلة من احد نظائره المشعة حيث يتم تتبع سير ذلك العنصر وانتشاره عن طريق قياس كمية الاشعة المنبعثة من النظير المشع في الاماكن المطلوبة .



شكل رقم (1) منحنى تغير النشاط الاشعاعي مع الزمن في القدمين .
فعلي سبيل المثال يمكن معرفة معدل جيران الدم في الاوعية الدموية وكفاءة نقل الدم خلال الشعيرات الدموية وتشخيص مختلف الاعراض المرضية المتصلة بها كضيق الاوردة والشرايين .

وتتلخص الطريقة بحقن الجسم 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 وشرابينة , ويبين الشكل (1) هذا المنحني لدي اصحاء الاجسام , وبمقارنة المنحني المقيس بالمنحني المعياري يستطيع الطبيب تشخيص حاله . وبما أن الذبحات الصدرية وامراض القلب الناتجة عن تصلب الشرايين ويقها هي المرض القاتل الأول في العصر الحديث فإن هذا يظهر أهمية مثل هذه الاستخدامات للنظائر المشعة في تشخيص الامراض .

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

10.3 التشخيص 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 النادرة حيث يمكن بهذه الطريقة الكشف عن 76 عنصراً لا تتعدى كمياتها جزءاً من البليون من الجرام , في حين يمكن الكشف عن 11 عنصراً لا تزيد كميتها عن جزء من مليون مليون من الجرام , ولهذه الطريقة تطبيقات كثيرة في المجالات المختلفة نذكرها في موضعها .

10.4 استخدامات 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 السرطانية 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 استئراء 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 ومدى انتشاره في الجسم , وفي بعض الاحيان يحقن النظير المشع علي شكل سائل 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

10.5 تعقيم المواد الطبية : sterilization of medical materials

لقد وجد ان اشعة جاما بطاقة 0.662 أف المنبعثة من السيزيوم -137 (عمر النصف 174 , 30 سنة) فعالة جدا في القضاء علي الميكروبات والجراثيم , وبذلك فإن الاشعة المنبعثة 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 الحرارة والمواد الكيماويه المعقمه

11 استخدامات النظائر المشعة في الزراعة :

Radio isotopes applications in agriculture

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

11.1 دراسة امتصاص النباتات لعناصر بطريقة الاستشفاف

باستخدام طريقة الاستشفاف التي تقدم ذكرها في هذا الباب يمكن دراسة سرعة امتصاص العناصر الكيميائية بواسطة النباتات واثر ذلك عليها , ومن ثم اضافتها في صناعة السماد بالقدر المطلوب فعلي سبيل المثال يمكن دراسة مدي فعالية سماد كيميائي 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 .

11.2 احداث طفرات في البذور الزراعيه

يعتمد علم تهجين النبات علي انتقاء بذور لها صفة ممتازة كمقاومة الامراض مثلاً , وبذور لها صفة ممتازة اخري كغزارة الانتاج , ثم استنبات هذه البذور وتخصيها لانتاج بعض البذور التي تحمل الصفتين الممتازتين مجتمعتين , وهذه العملية بطيئه وتستغرق زما 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 المجال في تحسين بذور الفول والفسق وكثير من النباتات والزهور الاخري

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

11.3 حفظ الاغذية بالتشعيع food conservation by irradiation

إن تشعيع المواد الغذائية باشعة جاما بطاقه كافيه ولفتره مناسبة يؤدي الي قتل الكائنات الدقيقة فيها , الامر الذي يطيل مدة بقائها بدون تلف , وقد بدأت دراسات جدوي هذه الطريقه في حفظ المواد الغذائيه منذ عام 1953 تقريبا , وقد ظعر 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 عزى هذا التغيير في الطعم واللون الي حدوث بعض التغيرات الكيميائيه في ماده 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 تشعيها تحت درجة حرارة منخفضه .

13 المراجع

- 1- فيزياء الاشعاع قياساته وتطبيقاته العملية, د.محمد شحادة الدغمة, 1998
- 2- الوقاية من الاشعاعات المؤينة, د. بهاء الدين حسين معروف, 1989
- 3- مبادئ الفيزياء النووية وتقنياتها, د. بسام محمد داخل, احمد شريف عودة, ا.د. احمد احمد الفاضى

Atoms, Radiation and radiation protection J. E. turner, -4
.1995

14 الفهرست

2	مدخل إلى فيزياء الإشعاع
3	1 التركيب الذري (Atomic structure)
3	1.1 الذرة (Atom)
4	1.2 النواة (nucleus)
4	1.3 العدد الذري (Atomic number)
4	1.4 العدد الكتلي (Mass number)
5	1.5 العدد النظائري (Isotopic number)
5	1.6 النويده (nuclide)
5	1.7 النيوترونات Neutrons
6	1.8 البروتونات (protons)
6	1.9 الالكترونات
8	1.10 انبعاث الإشعاع من النويدات المشعة
8	2 جسيمات الفا
9	3 جسيمات بيتا
11	3.1 مدى دقائق بيتا
13	4 النشاط الإشعاع Radioactivity
13	4.1 انحلال الفا α -decay
15	4.2 انحلال بيتا Beta decay
16	4.3 انواع تفكك بيتا
	4.3.1 التفكك الالكتروني
16	
	4.3.2 التفكك البوزيتروني
17	
	4.3.3 الاسر الالكتروني
17	
19	4.4 طاقة جسيمات بيتا
21	4.5 اشعاعات جاما Gamma radiation
23	4.6 الأشعة السينية x-rays
	4.6.4 الأشعة السينية المميزة للعنصر
23	
	4.6.5 الأشعة السينية (تناقصية)
24	

25	5 قانون التفكك الإشعاعي
25	5.1 الشدة الإشعاعية للعينة
26	5.2 تحديد ثابت الانحلال λ (وعمر النصف $t_{1/2}$ ومتوسط العمر t عمليا)
30	5.3 تحديد العمر النصفى للنظائر المختلطة
31	5.4 التفكك الإشعاعي المتتابع
34	5.5 التوازن الإشعاعي
35	5.6 التوازن الأبدى
37	5.7 التوازن الانتقالي
38	5.8 وحدات قياس النشاط الإشعاعي
39	وسوف نستعرض فيما يلي تفصيل الإشعاع المعرض له الإنسان
39	6 مصادر التعرض الى الإشعاع
39	6.1 النظائر المشعة الطبيعية
40	6.2 النشاط الإشعاعي في قشرة الارض
41	6.2.1 الصخور البركانيه
41	6.2.2 الصخور الرسوبية
41	6.3 النشاط الإشعاعي في التربة
42	6.4 النشاط الإشعاعي في الماء
42	6.5 النشاط الإشعاعي في الهواء
43	6.6 العناصر المشعة فى الكائنات الحيه
45	7 الأشعة الكونية
45	7.1 الأشعة الكونية الابتدائية
45	7.2 الأشعة الكونية الناتجة من الكواكب
45	7.3 الأشعة الكونية الشمسية الابتدائية
45	7.4 الأشعة الكونية الثانويه
46	7.5 النويدات المتولده بفعل الأشعه الكونيه
46	7.6 المواد المشعه الناتجه من توليد الطاقه الكهرونوويه
47	7.6.1 المواد المشعة الناتجة 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	

14- الكربون	7.7.5
51	
اليود	7.7.6
51	
52	7.8 الجسيمات في النفايات المشعة المنبعثة في الهواء
53	7.9 النفايات المشعة السائلة
54	7.10 المواد المشعة الناتجة من استخلاص الوقود
54	7.11 النفايات المشعة الغازية
54	7.12 الرذاذ المشع
55	7.13 النفايات المشعة السائلة
55	7.14 خزن و ردم النفايات المشعة
55	7.14.7 النفايات المشعة المنخفضة والمتوسطه النشاط الاشعاعي
56	
56	7.14.8 النفايات المشعه العاليه النشاط الاشعاعي
57	
58	7.15 منشآت البحوث النوويه
59	8 مصادر الاشعاع الطبيعيه المصنعه
59	8.1 توليد الطاقه من الفحم الحجري
59	8.2 انتاج الطاقه الحراريه الجيولوجية
59	8.3 استغلال الصخور الفوسفاتيه
59	8.3.1 مصادر الاشعاع في النفايات المشعه الناتجه من معامل معاملة الصخور الفوسفاتيه
60	
60	8.3.2 المصادر الاشعاعيه الناتجه عن الاستخدام الاسمده الفوسفاتيه
60	
60	8.3.3 مصادر الاشعاع الناتجه عن استخدام النواتج المرضية والنفايات
61	
61	8.4 صادر الاشعاع في السلع الاستهلاكيه
62	8.5 الاجهزه ذات الارقام المضيئه
62	8.5.4 الاجهزه الكهربائيه والالكترونيه
62	
62	8.5.5 كواشف الدخان
62	
62	8.5.6 السيراميك والادوات الزجاجيه
63	
63	قياس الجرعات الاشعاعيه Dosimetry
63	
64	8.6 الروتجن (R)

65.....	8.7 الراد rad
66.....	8.8 حساب الجرعات الاشعاعية:
74.....	8.8.7 الجرعات الناتجة عن اشعاع γ تعطى الجرعه بالعلاقة:
75.....	8.8.8 الجرعات الناتجة عن النيوترونات
77.....	8.8.9 عامل التراكم (B) للنيوترونات السريعه
78.....	8.8.10 ثابت معدل التعرض للاشعاع او معامل K :
80.....	التاثير الحيوي للاشعاع:
80.....	9 تركيب الخليه الحيه
81.....	9.1 الخلايا الميوتيكيه mitotic
81.....	9.2 تفاعل الاشعاع مع الخليه:
82.....	9.2.1 المرحلة الطبيعيه الابتدائيه :
82.....	9.2.2 المرحلة الكيموفيزيائيه :
82.....	9.2.3 المرحلة الكيمائية :
83.....	9.2.4 المرحلة الحيوية :
84.....	
85.....	9.3 التعرض الحاد للاشعاع: Acute Exposure
85.....	9.4 التعرض المزمن للاشعاع Chronic Exposure
89.....	10 تطبيقات النظائر المشعة في الطب Medical application of radioisotopes
89.....	10.1 التصوير الاشعاعي : radiography
90.....	10.2 التشخيص باستشفاف النظائر المشعة : diagnosis by radio isotopes
91.....	10.3 التشخيص عن طريق قياس العناصر النادره في الجسم : diagnosis by trace
92.....	10.4 استخدامات النظائر المشعة في العلاج : radio isotopes applications in
93.....	10.5 تعقيم المواد الطبيه : sterilization of medical materials
94.....	11 استخدامات النظائر المشعة في الزراعة :
94.....	11.1 دراسة امتصاص النباتات لعناصر بطرقه الاستشفاف

94.....	11.2	احداث طفرات في البذور الزراعيه
95.....	11.3	حفظ الاغذيه بالتشعيع food conservation by irradiation
96.....	13	المراجع
97.....	14	الفهرست