جامعة جنوب الوادي

مقرر

الفيزياء الإشعاعية

الفرقة الرابعة ـ كلية التربية ـ تعليم اساسى

شعبة العلوم عربي

إعداد

د/ عادل جادالكريم عبادي محمد

أستاذ الفيزياء الإشعاعية والنووية المساعد

الفصل الدراسي الثاني

العام الجامعي

2022 / 2023 م

الفصل الأول

الإشعاعات المؤينه والنشاط الإشعاعي

المقدمة .....

اتحلال (اتبعات) ألفا .....

اتحلال (اتبعات) بيتا .....

اتبعات أشعة جاما .....

الأشعة السينية X- Ray .....

الأشعة السينية المميزة .....

الأشعة السينية الانكباحية .....

الانحلال الإشعاعي .....

النشاطية الإشعاعية .....

الانحلال الاشعاعي المتسلسل *Serial Radioactive Decay* .....

الفصل الثاني

القياسات الإشعاعية والوحدات

التعرض الإشعاعي *(Exposure)* .....

الجرعة الممتصة *(Absorbed dose)* .....

الجرعة المكافئة *Equivalent Dose* .....

مكافئ الجرعة الفعالة *Effective Equivalent Dose* .....

حسابات الجرعة الإشعاعية الممتصة .....

الكيرما والاتزان الإلكتروني .....

القياسات الاشعاعية للمصادر النقطية وغير النقطية .....

الفصل الثالث

قياس الجرعات الداخلية والوقاية الإشعاعية

المواد المشعة في الهواء والأخذ الداخلي .....

النماذج المرجعية في قياس الجرعات الداخلية .....

طرق حساب الجرعات الداخلية .....

طريقة حساب الانتقال خلال الجسم .....

الفصل الرابع

قواعد الوقاية الإشعاعية

المسافة.....

الزمن .....

التدريع.....

الدروع الإشعاعية

الدروع الإشعاعية لجسيمات ألفا.....

الدروع الإشعاعية لجسيمات بيتا .....

الدروع الإشعاعية لأشعة جاما والأشعة السينية.....

الدروع الإشعاعية للحزمة المنتظمة .....

الدروع الإشعاعية للحزمة غير المنتظمة .....

التأثيرات البيولوجية للإشعاع

التأثير المباشر للإشعاع.....

التأثير غير المباشر.....

التأثيرات البيولوجية للإشعاع.....

التأثيرات الحادة والحتمية.....

التأثيرات المتأخرة للإشعاع.....

العلاقة بين الجرعة والاستجابة للتأثيرات.....

التأثير الإشعاعي على الجنين والمرأة الحامل.....

كواشف الإشعاعات

أمثلة محلولة

المراجع

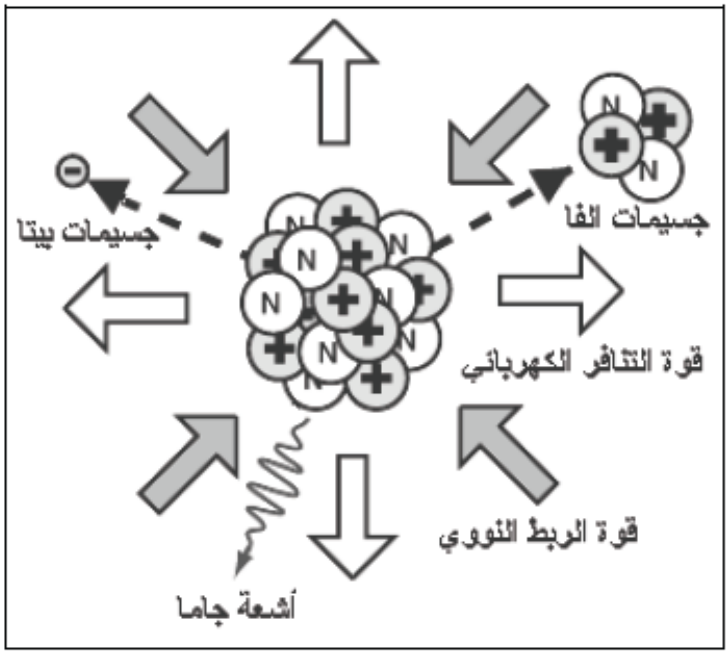
الفصل الأول

الإشعاعات المؤينة والنشاط الإشعاعي

المقدمة:

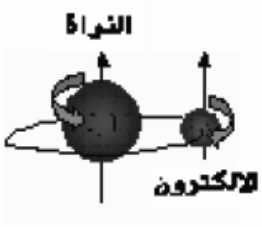
تقسم مصادر الإشعاع الى قسمين رئيسيين ، هما الإشعاع الطبيعي والإشعاع الصناعي الناتجين عن اضمحلال (تفكك) النظائر المشعة تلقائيا بشكل طبيعي أو بوجود مؤثر خارجي ، وما يرافقه من انبعاث لجسيمات نووية مثل جسيمات ألفا و بيتا أو أشعه كهرومغناطيسية كأشعة جاما ، بالإضافة الى الاشعه السينية التي تصدر من المدارات المحيطة بالنواة أو نتيجة لاصطدام الإلكترونات المتسارعة وتفاعلها مع الذرة.

وانبعاث الإشعاعات من نواة الذرة ، هو نتيجة التضارب الشديد بين قوى الجذب النووي وقوى التنافر الكهربائي داخل انوية الذرات غير المستقرة. وأنواع الانبعاثات الأكثر شيوعا هي انبعاث ألفا وبيتا وجاما بالإضافة الى عدة أنواع أخرى اقل شيوعا مثل القنص الإلكتروني (***Electron Capture***) وانبعاث البزوترون والتحول الداخلي وغيره من الأنبعاثات الأخرى.



الذرة:

تتكون المادة من وحدات متناهية في الصغر يطلق عليها اسم الذرات, وتحتوي كل ذرة على نواة تحوى معظ م وزنها. و النواة محاطة بعدد من الإلكترونات تدور حولها في مدارات محددة.



يبلغ قطر الذرة حوالي $(10^{-10}m)$ ، أما نصف قطر النواة فيبلغ حوالي $(10^{-15}m)$ ، ويعتمد قطر النواة على الوزن الذري للعنصر ، ويمكن حسابه باستخدام الوزن الذري للعنصر حسب المعادلة التالية:

$$R = r_0 A^{1/3}$$

حيث:

A : الوزن الذري للعنصر

و $r_0 = 1.3\times10^{-15}m$ ويمثل قطر النواة الابتدائية.

من المعادلة السابقة نلاحظ بان قطر النواة يزداد بزيادة الوزن الذري للعنصر ، ومن ملاحظة مقدار الفرق بين قطر النواة وقطر الذرة ، فانه هناك احتمالية أن يتم اختراق ذرة أو عدة ذرات من قبل الجسيم قب ل ح دوث تصادم مباشر أو ما شابه ذلك.

ومن الجدير بذكره هنا ، بان معظم القيم المعروفة عن حجم النواة هي نتيجة التجارب التي تمت عل ى عملية التشتت للالكترونات كما هو مبين بالشكل (1). وان كثافة النواة ρ_n تبلغ $(2.3\times10^{17}kg/m^3)$.

النواة:

تحتوي النواة على نوعين من الجسيمات المتناهية في الصغر ، هما البروتونات والنيترونات حيث أن البروت ون يحمل شحنة موجبة يبلغ مقدارها $(1.6\times10^{-19}C)$ وهي تعادل قيمة الشحنة السالبة التي يحملها الإلكترون ، إم ا النيترون فانه لا يحمل أي شحنة (محايد الشحنة). عدد البروتونات في النواة مساوي لعدد الإلكترونات الموجودة في الذرة وتدور هذه الالكترونات في المدارات المحيطة بالنواة ، وهذا الأمر يبقى على الاتزان الكهربائي للذرة.

انحلال (انبعاث) ألفا:

جسيم ألفا عبارة عن نواة ذرة الهليوم المكونة من بروتونين ونيترونيين وتمتاز بوزنها الكبير بالنسبة الى جسيم بيتا حيث يبلغ جسيم ألفا حوالي 7000 ضعف وزن جسيم بيتا وتكون شحنته موجبة وبمقدار يساوي شحنة البروتونين. وتمتاز هذه الجسيمات بمدى اختراق قصير جدا نظرا لشحنتها وكتلتها. ويكون التواجد الطبيعي لانبعاث ألفا في ذرات العناصر الثقيلة ، الأثقل من الرصاص والتي تتميز دائما بانخفاض طاقة الربط بين مكونات النواة و هي

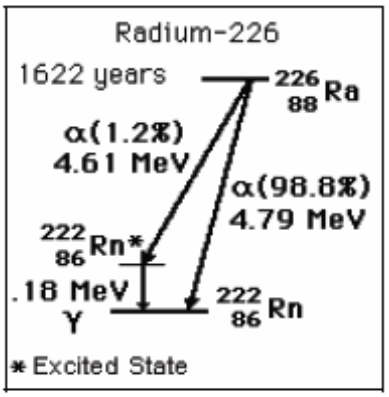
بالعادة انويه غير مستقرة وتنحل الى انوية أخرى أكثر استقرارا، فعلى سبيل المثال ذرة عنصر الراديوم عندما تنحل الى ذرة عنصر الرادون فأنها تطلق جسيم ألفا كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$$

وحتى يتحقق شرط أن تكون النواة مشعة لجسيم ألفا (باعثة للطاقة) يجب أن تكون كتلتها اكبر من مجموع كتلة النواة الوليدة وجسيم ألفا على النحو التالي :

كتلة النواة ألام > كتلة النواة الوليدة + كتلة جسيم ألفا

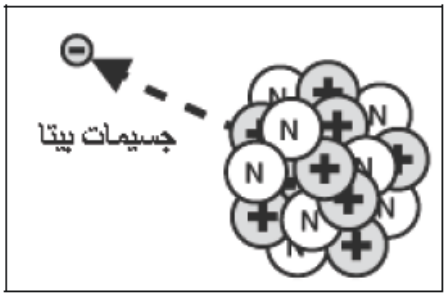
وفرق الكتلة في هذه الحالة سيكون بمقدار قيمة Q ال[illegible] ، والمخطط التوضيحي لهذا الانحلال مبين بالشكل (1).



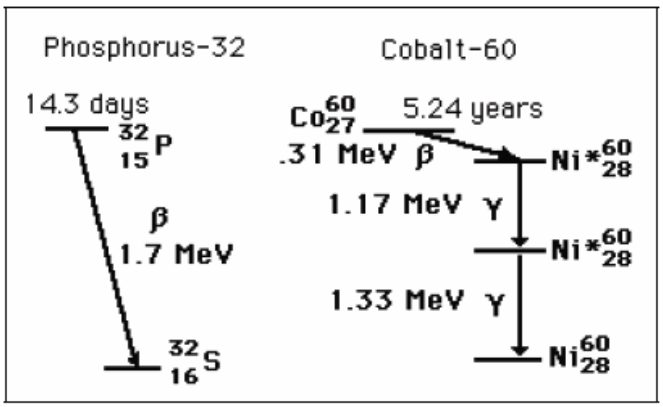
الشكل (1): مخطط توضيحي لانحلال ذرة الراديوم وانبعاث دقائق ألفا.

انحلال (انبعاث) بيتا:

تقوم نواة العنصر غير المستقرة بعملية انبعاث يتم خلاله إطلاق إلكترون ، يدعى في هذه الحالة بجسيم بيتا β^- مع جسيم أخر هو النيوترينو. و النيوترينو عبارة عن جسيم كتلته صفر وشحنته صفر أو بأنبعاث جسيم أخر يدعى البزوترون وهو عبارة جسيم كتلته مساوية لكتلة الإلكترون وشحنته موجبة β^+ بالإضافة الى النيوترينو المضاد ويحدث هذا الانبعاث بعدد كبير من انوية النظائر سواء كانت ثقيلة أو خفيفة.



كما أسلفنا في الفصل الأول بأنه حتى تكون الذرة مستقرة يجب يكون عدد البروتونات مساويا لعدد النيترونات في الانوية الخفيفة ثم بعد ذلك يصبح عدد النيترونات اكبر قليلا عن عدد البروتونات للمحافظة على ترابط النواة والتغلب على قوى التنافر الكهربائي بين البروتونات ضمن نطاق النواة وهذه النسبة تبلغ 1 في الانوية الخفيفة التي يقل العدد الذري فيها عن 20 لتصل الى 1.6 في الانوية الثقيلة (انظر العلاقة البيانية الواردة في الفصل الأول–الشكل رقم 2) ، وفي حال تغير هذه النسبة تصبح النواة مشعة وتقوم بالتخلص من طاقتها على شكل جسيمات بيتا نتيجة تحول أحد النيترونات الفائضة بالنواة الى بروتون وجسيم بيتا ويؤدى هذا الى زيادة عدد البروتونات بمقدار واحد $(Z+1)$ أو بتحول البروتون الى نيترون و بوزترون ويؤدى هذا التحول الى نقص في عدد البروتونات بمقدار واحد $(Z-1)$ ويكون احتمال انبعاث بيتا اكبر عندما تكون نسبة النيترونات الى البروتونات أعلى وعكس ذلك عندما يكون عدد البروتونات أكثر أي أن نسبة النيترونات الى البروتونات اقل يحدث انبعاث البوزترون. كما انه في حال تغير هذه النسبة عن منحنى الاستقرار البياني يمكن أن يكون النظير مستقرا بالنسبة إلى انبعاث ألفا على سبيل المثال وغير مستقر بالنسبة إلى انبعاث بيتا والعكس صحيح بفارق أن انبعاث بيتا يشمل كافة النظائر الخفيفة منها والثقيلة[118].



الشكل (2): مخطط الانحلال الإشعاعي لنواة عنصر الفسفور ولنواة عنصر الكوبالت.

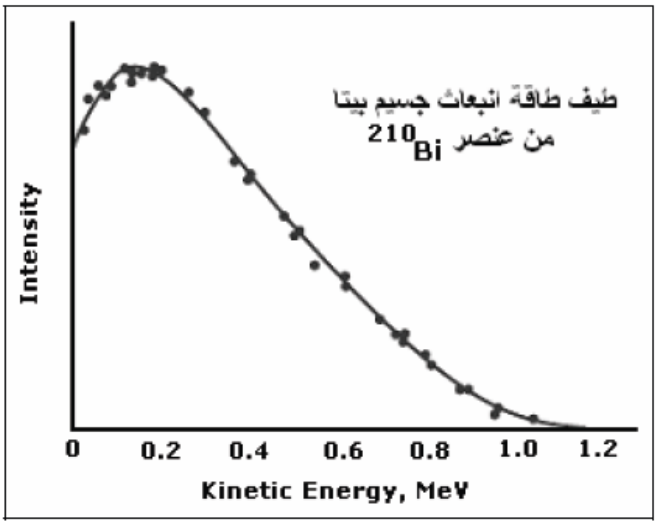
يظهر الشكل (2) مخطط الانحلال لنظير نواة الفسفور ^{32}P على يسار الشكل ومخطط الانحلال لنظير الكوبالت ^{60}Co على اليمين ، ففي ذرة الفسفور والتي تحتوي على 15 بروتوناً و 17 نيتروناً تنبعث النواة بتحول

أحد النيترونات إلى بروتون وجسيم بيتا ليصبح عدد البروتونات 16 بروتون لتتحول النواة ألام إلى نواة ذرة الكبريت المستقر في الحالة الأرضية ويبقى مجموع النيترونات والبروتونات بدون تغير. وفرق الطاقة الذي يبلغ $1.7MeV$ بين مستوى نواتي النظيرين تم إعطاءها لجسيم بيتا مره واحدة.

أما في حالة الكوبالت على يمين المخطط فان نظير الكوبالت ^{60}Co ينحل منتجاً جسيم بيتا بطاقة $0.31MeV$ وتتحول النواة الى نواة النيكل بعدد بروتونات 28 ولكن هذا الانبعاث ليس كافيا للتخلص من كامل فرق الطاقة بين النواة ألام والنواة الوليدة، لذا فان النواة الابنة وهي النيكل لا تزال في مستوى الإثارة فتطلق في هذه الحالة أشعة جاما بطاقة $1.17MeV$ لتنتقل الى مستوى إثارة أخر اقل بمقدار طاقة أشعة جاما المنبعثة لتطلق أشعة جاما مرة أخرى بطاقة تساوي $1.33MeV$ لتستقر في النهاية في المستوى الأرضي ، وبجمع مقدار الطاقات لكافة الانبعاثات الثلاث نجد أنها تبلغ $2.81MeV$ تم التخلص منها من خلال عدة انبعاثات نووية . وتكون قيمة Q لهذا التفاعل النووي تساوي فرق الكتلة بين النواة ألام والنواة الابنة وجسيم بيتا أي أن :

$$Q = M_{Co} - (M_{Ni} + m_{e^-})$$

قيمة طاقة بيتا تقع بين قيمة الصفر والقيمة القصوى لها حيث أن النيوترينو يشارك جسيم بيتا في طاقته فيمكن له اخذ كامل الطاقة القصوى و جسيم بيتا يأخذ طاقه مقدارها صفر والعكس صحيح أيضا كما انه يمكن أن تتوزع الطاقة احتماليا بينهما. لذا يكون طيف جسيم بيتا عند قياسه طيف متواصل كما هو مبين في الشكل (3) بعكس طيف جسيم ألفا الذي يكون ذو طاقات محددة.



الشكل (3): طيف الانبعاث لجسيم بيتا من نواة عنصر البازموث ^{210}Bi .

أن عملية الانبعاث الإشعاعي لجسيم بيتا أو البزوترون تأتي من خلال عدة أنواع وذلك عندما يتحلل النيترون لينتج بروتون وجسيم بيتا كما هو مبين أدناه:

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

أو عندما يتحول البروتون الى نيترون وبزوترون كما يلي:

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

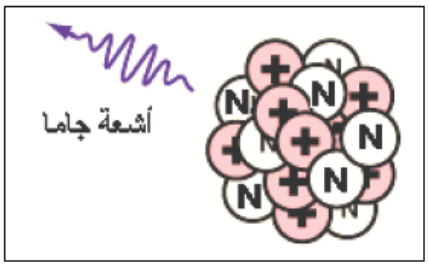
أو قد تتم العملية بان تقوم النواة باقتناص أحد الإلكترونات المدارية وفي العادة من المدار الأول K أو من المدار الثاني L في حالات قليلة، ليتفاعل مع أحد بروتونات النواة ليتحولا الى نيترون وفى هذه الحالة لا تصدر النواة أي من جسيمات بيتا ولكن يمكن لها أن تصدر أشعة جاما.

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

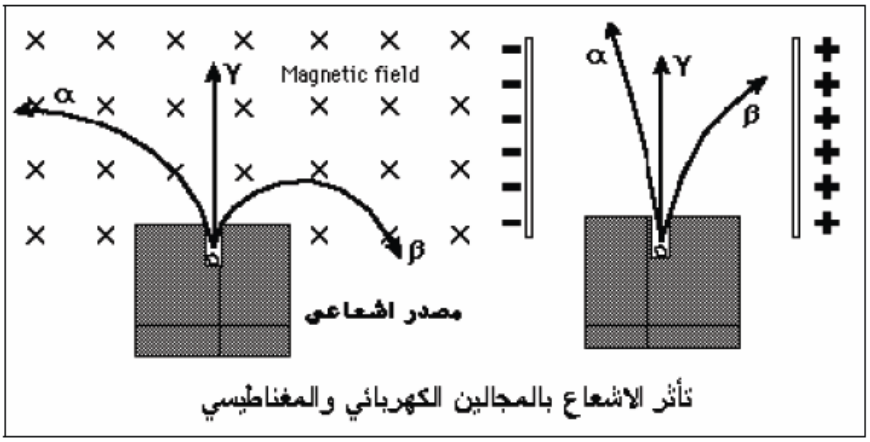
ولا يحدث هذا التفاعل إطلاقاً في حالة كانت قيمة Q للتفاعل اقل من طاقة الربط للمدار المقتنص منه الإلكترون سواء K أو L [139].

انبعاث أشعة جاما:

أشعة جاما عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية تقع ضمن الطيف الكهرومغناطيسي الذي يحوي ضمنه الأشعة المرئية وموجات الميكروويف وأشعة أكس. أشعة جاما وأشعة اكس تكون ذات طاقة عالية جدا بالنسبة للطيف الكهرومغناطيسي مما يجعلها قادرة على تأيين الذرات عند تفاعلها مع المادة.



وأشعة جاما كونها طاقة فوتونيه موجيه ، لا تتأثر بالمجال الكهربائي ولا بالمجال المغناطيسي كما هو الحال في جسيمات ألفا وبيتا المشحونة ، بالإضافة إلى اختلاف طريقة تفاعلها مع المادة عن طريقة تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة.



تأثر الاشعاع بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي

مصدر أشعة جاما هو نواة النظير والتي تكون في اغلب الأحيان نواة مثارة نتيجة حصول تفاعل نووي أدى الى انبعاث جسيمات ألفا أو بيتا للتخلص من الطاقة الفائضة في النواة وأعادتها الى حالتها المستقرة. بالإضافة الى احتمالية أن تعطي طاقتها الى أحدى الإلكترونات المدارية القريبة بالعادة K ليترك الذرة حاملا معه هذه الطاقة ويدعى هذا التفاعل بالتحول الداخلي (internal conversion) ، وتتميز هذه الإلكترونات بطاقتها المحددة بعكس الإلكترونات الناتجة عن انحلال بيتا ، وتفاعل التحول الداخلي يكون طيفه مستمر حيث تكون طاقته مساوية

لطاقة النواة مطروحا منها طاقة الربط في المدار ($E_e = E^* - E_B$). وتدعى نسبة عدد الإلكترونات المتحولة الى عدد فوتونات أشعة جاما بمعامل التحول الداخلي وهذا المعامل يتناسب مع مكعب العدد الذري طرديا ويتناسب عكسيا مع طاقة الإثارة في النواة أي بمعنى انه كلما زاد العدد الذري وقلت طاقة الإثارة بما يقارب طاقة الربط في المدارات المحيطة بالنواة كلما ازداد عدد الإلكترونات المتحولة[139].

عملية انتقال الطاقة يمكن أن تتم على عدة مراحل ، فقد تنتقل النواة من مستوى إثارة الى مستوى اقل ثم الى مستوى أخر اقل منه وهكذا دواليك أو أن تنتقل النواة من مستوى طاقة الى أخر مباشرة ومن ثم الى حالة الاستقرار ، ونتيجة هذا الانتقال لا يحدث أي تغيير إطلاقا على عدد البروتونات أو عدد النيترونات ويدعى في هذه الحالة بالانتقال الايسومري وتدعى النواة في المستوى الأعلى والمستوى الأخير المستقر لها بالنواة الايسومرية.

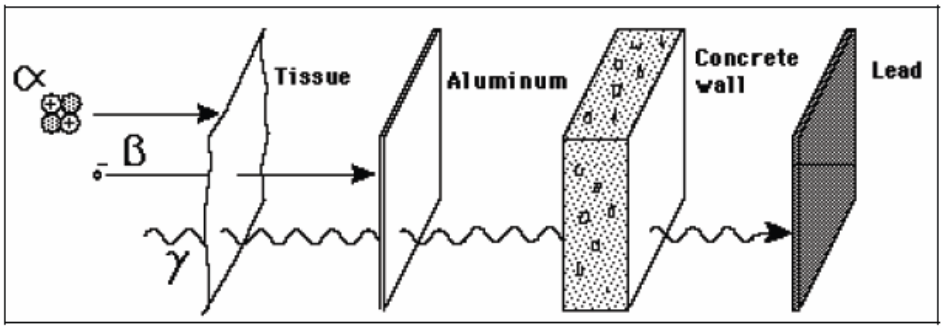
طيف أشعة جاما هو خاصية لكل نواة أي أن كل نواة تشع أشعة جاما بطاقة معينه يمكن من خلال قياس هذه الطاقة التعرف على نواة النظير المشع وتمييز كل نواة من خلال تحليل طيفها كما يحدث في عملية التحليل الطيفي (*Gamma Spectroscopy*) الذي يتم فيه معرفة طاقة كل ذرة من خلال تحليل طيف الانبعاث لأشعة جاما المنبعثة ، وبالتالي التعرف على نواة العنصر ، حيث أن كل نواة عنصر لها قدر محدود من الطاقة التي تبعثها من خلال إشعاع جاما وحتى لو كانت ضمن خليط من الانوية المشعة لجاما.

في العادة، انبعاث جاما الذي يتبع انبعاث جسيم نووي مثل ألفا أو بيتا والذي يؤدي الى ترك النواة في حالة عدم استقرار يحصل في زمن صغير جداً بحدود 10^{-10} ثانية التي تكون النواة فيها بحالة الإثارة الانتقالية ولكن في بعض الحالات يمكن للنواة أن تؤخر هذا الانبعاث وتبقى في حالتها المثارة لزمن أطول ومثال على ذلك نواة ذرة الميلبدنيوم ^{99}Mo التي يحدث لها انبعاث لجسيم بيتا لتتحول الى نواة التكنيسيوم ^{99m}Tc لتبقى في الحالة الانتقالية (الايسومرية) لعمر نصف يبلغ 6.01 ساعة قبل أن تطلق أشعة جاما ، وتكون النواة في حالة شبه مستقرة (*Metastable State*) ، وهذه الخاصية بالإضافة الى الخواص الأخرى منحها أفضلية الاستخدام في المجالات الطبية وأغراض الطب النووي، ويمكن تمثيل هذا التفاعل كما يلي:

$$^{99m}_{43}Tc \rightarrow ^{99}_{43}Tc + \gamma$$

مقدار اختراق أشعة جاما في المواد يختلف عن مدى اختراق الجسيمات المشحونة مثل ألفا وبيتا بحيث أن هذه الجسيمات يتم إيقافها بسمك قليل من المادة ، أما بالنسبة لأشعة جاما فأنها تحتاج الى سمك اكبر مما تحتاجه الجسيمات المشحونة وهذا الأمر مهم لغايات الوقاية الإشعاعية واختيار المواد الأكفأ في توهين وإيقاف الأشعة نظراً لاختلاف طبيعة تفاعلها مع المادة وكبر مدى اختراقها للمواد والشكل (4) يوضح هذا الاختلاف في مدى الاختراق لأنواع الإشعاع المختلفة.

أن مدى الاختراق لأشعة جاما كبير جدا وهو اكبر بكثير منه للجسيمات المشحونة، لذا فأنها تحتاج الى سمك اكبر لإيقافها ، ومع وجود هذا السمك الكبير ألا أن احتمالية عبور فوتونات جاما للحاجز تكون قائمة ومن هنا تتضح مدى خطورة التعامل مع هذه الأشعة وصعوبة إيقافها بالكامل والوصول الى العدد صفر من الفوتونات المخترقة للحاجز لذا تعتبر أشعة جاما وأشعة اكس (الأشعة السينية) أيضا أكثر أهمية عندما يتم تصميم وإعداد الحواجز الواقية من الإشعاع والأكثر مدعاة للقلق في مجال الوقاية الإشعاعية نظرا لمدى اختراقها الكبير للحواجز الواقية ومدى اختراقها للجسم البشري أيضا.



الشكل (4): مدى الاختراق للأنواع المختلفة من الإشعاع في المادة.

الأشعة السينية X- Ray:

الأشعة السينية وتسمى أيضا بأشعة اكس هي عبارة عن أشعه كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية جدا كما في أشعة جاما ألا أن مصدرها يكون الذرة ومداراتها بعكس أشعة جاما التي مصدرها النواة ، ويوجد نوعين من الأشعة السينية وهما الأشعة السينية المميزة للعنصر والأشعة السينية الأنكباحية وهذا الفرق هو نتيجة اختلاف طريقة إنتاج كل نوع من هذه الأشعة.

- **الأشعة السينية المميزة:**

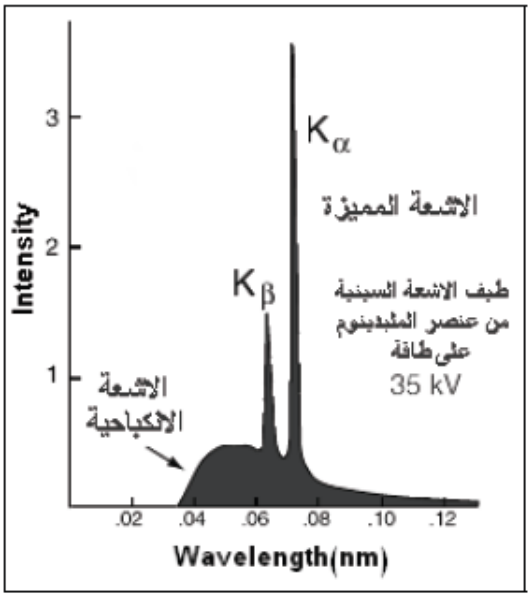
تنتج هذه الأشعة نتيجة لانتقال الإلكترونات المدارية من مدار أعلى للطاقة الى مدار اقل في نفس الذرة نتيجة وجود فراغ الكتروني في إحدى المدارات القريبة للنواة والذي يتم تعبئته من الإلكترونات المتواجدة في المدارات الأعلى في الذرة ، ونتيجة هذا الانتقال ينطلق فوتون أشعة اكس مساوي في الطاقة لفرق الطاقة بين المدارين وحيث أن طاقة هذه المدارات محدودة ، فان طاقة أشعة اكس الناتجة بهذه الطريقة تكون محدودة أيضا لكل عنصر وبالتالي يكون هذا الفوتون كخاصية مميزة للعنصر (هوية شخصية) تميزه عن غيره من العناصر لذا تم تسميتها بالأشعة السينية المميزة للعنصر ، أي انه يمكن التعرف على العنصر من خلال التعرف على طاقة أشعة اكس المتولدة منه.

أن طيف أشعة اكس المميزة للعنصر يظهر أيضا المدارات التي تم الانتقال أليها وكثافتها كما هو موضح بالشكل (5) لطيف أشعة اكس المميزة لذرة عنصر الميلبدنيوم وهذه الخاصية تستعمل في التعرف على عناصر المركبات الكيماوية في العينات بدون أتلافها لها بحيث يمكن معرفة العنصر من معرفة طاقة الأشعة السينية من خلال تحليل الطيف الإشعاعي.

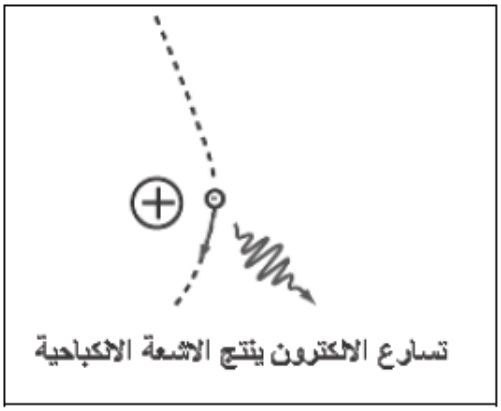
- **الأشعة السينية الانكباحية:**

تنتج الأشعة السينية عندما يتم حدوث إيقاف مفاجئ للإلكترونات المتسارعة أو تغير في سرعتها وتعرف بإشعاع (*Brehmsstrahlung*) المشتق من التسمية الألمانية والتي تعني الأشعة نتيجة التوقف. ونتيجة لتفاعل الإلكترون المتسارع أو الجسيم المشحون مع المجال الكهربائي الشديد للذرة والنواة يؤدي ذلك الى زيادة سرعته وبالتالي الى انبعاث أشعة كهرومغناطيسية نتيجة تسارع الجسيم المشحون باتجاه النواة وانحرافه ضمن المجال الكهربائي للنواة مما يؤدي الى تغير تسارعه نتيجة قوة كولوم الكهربائية ، وبالتالي فان الطاقة التي يفقدها تتحول الى فوتون

أشعة اكس بطاقة مساوية للطاقة التي فقدها الإلكترون المتسارع ويكون اتجاهها باتجاه المماس لمنحنى الانحراف للإلكترون أو الجسيم المشحون كما هو موضح بالشكل (6).



الشكل (5): طيف الأشعة السينية.

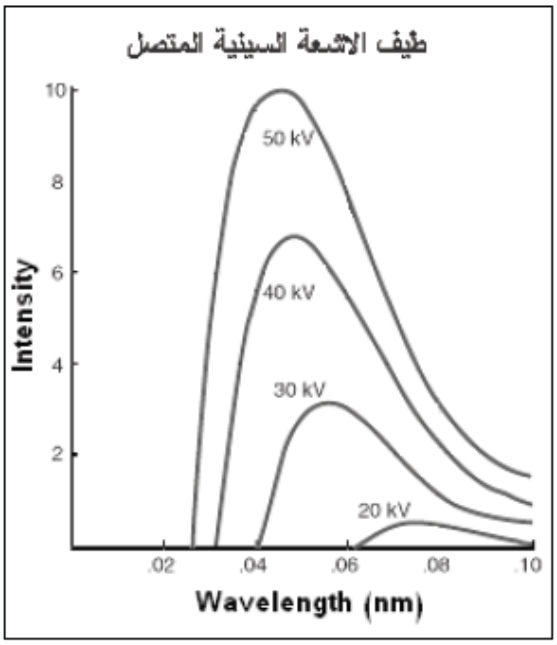


الشكل (6):إنتاج الأشعة الانكباحية.

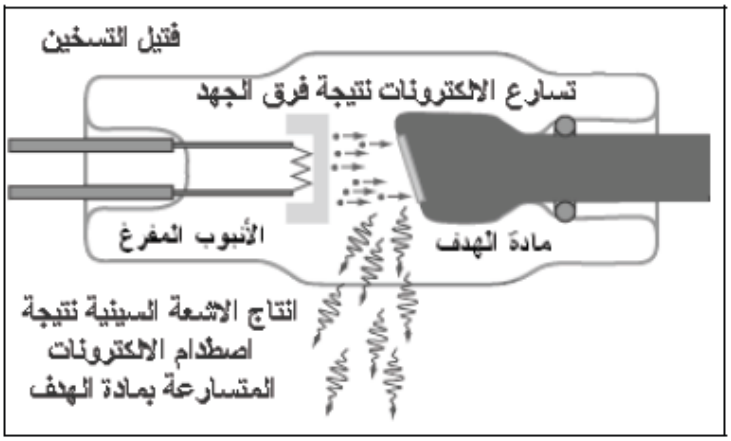
وطيف أشعة اكس الانكباحية يكون طيف متصل كما هو موضح بالشكل (7) ، وليس محدد كما في أشعة اكس المميزة للعنصر ، حيث تتخذ الفوتونات فيه قيما مختلفة من الطاقة الصفريه ولغاية الطاقة القصوى للإلكترون أو الجسيم المتوقف أو المتسارع وهذا يتيح مجال اكبر في استخدامها في التطبيقات الطبية والصناعية المختلفة حيث انه يمكن التحكم بطاقة الأشعة من خلال التحكم بطاقة الإلكترون المتسارع من خلال استعمال مولد أنبوب الأشعة السينية أو المسارعات الطبية و البحثية المختلفة حيث أنة بالإمكان الحصول على طيف كبير جدا من الطاقات المختلفة لهذه الأشعة.

أما طريقة إنتاج أشعة اكس الانكباحية فيتم من خلال أنبوب الأشعة السينية وذلك من خلال تسريع الإلكترونات التي ينتجها فتيل التسخين نتيجة مرور تيار كهربائي يعمل على تسخين الفتيل مما يؤدي الى انطلاق غيمة من الإلكترونات ، ثم يتم تسريع هذه الالكترونات في الأنبوب المفرغ من القطب السالب باتجاه القطب

الموجب تحت تأثير جهد كهربائي عالي ، وهذا الجهد هو الذي يحدد طاقة الأشعة المنتجة. وأصطدم هذه الإلكترونات المتسارعه بمادة القطب الموجب (الهدف ويكون بالعادة من مادة ألتنجستون) يؤدي الى توقفها أو انحرافها أو إبطائها ، وبالتالي يتم تحول هذه الطاقة الى أشعة سينية تدعى بالأشعة الانكباحية كما هو موضح في الشكل (8).



الشكل (7): طيف الأشعة الانكباحية المتصل.



الشكل (8): أنبوب الأشعة السينية.

الانحلال الإشعاعي:

يتم انحلال وانبعاث انوية العناصر وإنتاج جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما ضمن عملية فيزيائية وإحصائية معقده نوعا ما ، حيث انه من الصعوبة المعرفة بالتحديد وقت انحلال ذرة معينة لذا لوحظ بان عملية الانحلال تتم ضمن قانون الانحلال الإشعاعي بناء على عمليات إحصائية ضمن فترة زمنية معينة حيث وجد بان هذه العملية تتم ضمن تسلسل أسي معين ، أي انه إذا افترضنا وجود عدد من الذرات N_0 عند الزمن صفر فان هذه الذرات

ستنحل ليصبح عددها بعد زمن معين N ، أي أن عدد من الذرات dN تنحل ضمن الفترة الزمنية dt وفي هذه الحالة يمكن كتابة هذه العلاقة رياضيا بالشكل التالي:

$$dN = -N\lambda dt$$

أي أن عدد الذرات الأصلية يتناقص مع مرور الزمن ، وبحل هذه المعادلة رياضيا بالتكامل نجد أن عدد الذرات الباقية بدون انحلال عند زمن معين t تساوي:

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

ويعرف هذا القانون بقانون الانحلال الإشعاعي ، حيث أن λ هو ثابت الانحلال الإشعاعي.

النشاطية الإشعاعية:

تعرف النشاطية الإشعاعية (A) بأنها عدد الانبعاثات التلقائية لذرات المادة ضمن فترة زمنية محدودة (ثانية) وتقاس النشاطية الإشعاعية بوحدة الكوري الذي يساوي $(3.7\times10^{10}\,Bq)$ انبعاث (بيكرل) لكل ثانية واحدة وهو مقدار نسبة انحلال عينة معيارية من الراديوم مقدارها غرام واحد.

والنشاطية الإشعاعية تتبع قانون الانحلال الإشعاعي حيث أن النشاطية الإشعاعية تساوي:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda t$$

أي أنه يمكن كتابتها بالشكل التالي بتعويض قيمة A بدلا من N :

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

وإذا قمنا بتمثيل العلاقة بيانيا فأن هذه العلاقة ستظهر كما هو مبين في الشكل (9).

منحنى الانحلال الإشعاعي يبين كيفية تناقص عدد الذرات الأصلي نتيجة انحلالها مع مرور الزمن ، ولو أخذنا قيمة الزمن الذي يصل عدد الذرات بعد انحلالها الى نصف عددها الأصلي فأنة سيكون الزمن T وهذا الزمن يعرف بعمر النصف الإشعاعي الذي يعرف بأنه الزمن اللازم لانحلال الذرات ليصبح عددها نصف العدد الأصلي لها:

$$N = \frac{N_0}{2}$$

ويمكن التعبير عنه رياضياً كما يلي:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

وبأخذ قيمة اللوغاريتم الطبيعي لطرفي المعادلة فأننا سنجد :

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ومن العلاقة أعلاه فانه يمكننا أن نجد قيمة ثابت الانحلال بمعرفة عمر النصف الإشعاعي أو العكس. ويمكن أيجاد قيمة ثابت التحلل عمليا بوضع عينة مشعة مقابل عداد إشعاعي على مسافة ثابتة ونأخذ قراءات مختلفة لقراءة العداد مع الزمن وبتمثيل العلاقة بيانيا كما في الشكل البياني أعلاه نجد قيمة الزمن على المنحني التي تصبح قراءة العداد مساوية لنصف قيمة قراءته عند البداية وبالتعويض في المعادلة أعلاه يمكننا أيجاد قيمة هذا الثابت.

مثال:

عينة تحتوي على مادة الصوديوم المشعة تبلغ نشاطيتها الإشعاعية 30 ملي كوري. كم ستبلغ نشاطية هذه العينة بعد زمن مقداره يومين ونصف إذا علم بان عمر النصف الإشعاعي للصوديوم يبلغ 15 ساعة؟

الحل :

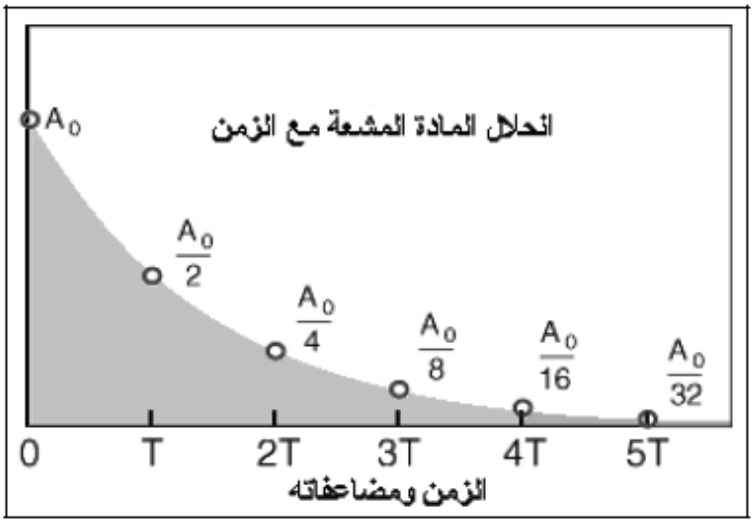
نقوم في الخطوة الأولى بتوحيد وحدات الزمن أي زمن يومين ونصف يساوي بالساعات 60 ساعة ثم بعد ذلك نجد قيمة ثابت التحلل للمادة المشعة من معرفتنا بمقدار عمر النصف الإشعاعي لها كما يلي:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0.693}{15h} = 0.0462h^{-1}$$

وحيث أن النشاطية الإشعاعية الأصلية تبلغ 30 ملي كوري وتم أيجاد ثابت الانحلال نعوض هذه القيم في معادلة حساب النشاطية الإشعاعية لنجد بان نشاطية المادة سوف تصبح 1.88 ملي كوري بعد يومين ونصف كما يلي:

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

$$A = 30e^{-(0.0426\times 60h)} = 1.88mCi$$



الشكل (9): منحنى الانحلال الإشعاعي.

مثال:

محلول يحتوي على $0.1\mu Ci$ من عنصر الذهب Au^{198} و $0.04\ \mu Ci$ من عنصر اليود I^{131} عند القياس ، ما مقدار الإشعاعية الكلية لجسيمات بيتا بعد زمن 21 يوم علما بان عمر النصف للذهب 2.7 يوم ، ولليود 8.05 يوم؟

الحل:

نجد النشاطية الإشعاعية لكل منهما كل على حده من معادلة النشاطية الإشعاعية ، وتكون النشاطية الكلية مجموع نشاطية كل منهما ، ونجمعهم مع بعض نجد بان النشاطية الكلية للمحلول:

العدد الذري والعدد الكتلي — Atomic Number & Mass number

- العدد الذري يساوي عدد البروتونات الموجودة بالنواة Z.
- العدد الكتلي يساوي مجموع عدد البروتونات Z وعدد النيوترونات N الموجودة بالنواة ويرمز له بالرمز A

$$A = Z + N$$

واضح أن عدد الكتلة لكل عنصر هو عدد صحيح باعتبار أنه مجموع عددين صحيحين.
وكما ظهر فيما بعد ١٩١٩ أن ذرة العنصر الواحد ليست متماثلة تماماً من العدد الكتلي وطالما أن Z هي التي تحدد سمات العنصر فإن الاختلاف يأتي هنا من عدد النيوترونات في ذرات العنصر الواحد، ولذلك سميت هذه الذرات بـ نظائر العنصر isotopes

ملاحظة: isotopes تعني نفس المكان بالجدول الدوري وبالتالي هي متشابهات العنصر. لا تختلف عنه في الخصائص الكيميائية ولكنها تختلف عنه في وزنه الذري.

أمثلة: • الهيدروجين تكون نظائر:-

الهيدروجين أو البروتيوم	الديوتريوم	التريتيوم
$Z=1$ $N=0$	$Z=1$ $N=1$	$Z=1$ $N=2$
ويرمز لها كالآتي		
${}_1H^1$	${}_1H^2$	${}_1H^3$

• أشهر أمثلة اليورانيوم (نظائره) هما ${}_{92}U^{238}$ ، ${}_{92}U^{235}$
• " " الرصاص (نظائره) ${}_{82}Pb^{206}$
${}_{82}Pb^{207}$
${}_{82}Pb^{208}$

وحيث أن جميع نظائر العنصر متكافئة كيميائياً لأن لعنصر واحد، فقد ظهرت قيمة أخرى بدلاً من العدد الكتلي تسمى الوزن الذري Atomic weight وبالتالي فإن
- العدد الكتلي دائماً هو عدداً صحيحاً
- الوزن الذري للعنصر قد يكون عدداً صحيحاً أو يحتوي على كسر لتواجد عدد من نظائره.

ملاحظات: • الأنوية التي تحتوي نفس عدد البروتونات تسمى نظائر العنصر ← isotopes ${}_1H^1$ ، ${}_1H^2$ ، ${}_1H^3$
• " " " النيوترونات " أيزوتونات ← isotones ${}_8O^{16}$ ، ${}_6C^{14}$
• " " " عدد البروتونات + عدد النيوترونات تسمى أيزوبارات isobars ${}_1H^3$ ، ${}_2He^3$

النيوكليونات واللبتونات Nucleons and leptons

النوية الذرية عبارة عن حالات ارتباط كمية quantum bound states لجسيمات تسمى نيوكليونات حيث يوجد منها نوعان: البروتونات موجبة الشحنة والنيوترونات متعادلة الشحنة (عديمة الشحنة). كلاً من البروتون والنيوترون يمتلكان كتلاً متقاربة فإذا كانت كتلة البروتون m_p وكتلة النيوترون m_n، نجد أن

$$m_p c^2 = 938.27 \text{ MeV} \qquad m_n = 939.56 \text{ MeV}$$

$$\therefore (m_n - m_p)c^2 = 1.29 \text{ MeV}$$

عند دراسة الفيزياء النووية فإن الفرق في الكتلة يكون ذو أهمية عن كتل نفسها ولذلك تحليل واعتبارها في بعض الحالات الدراسية كتلاً لونكي شيء بالرغم من صغر قيمتها.

على الجانب الآخر نجد أن كتلة الإلكترون ليست ببعيدة عن فرق الكتل بين البروتون والنيوترون بالرغم من عدم وجود إلكترونات داخل النوية، كتلة الإلكترون تكافئ

$$m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$$

ملاحظة: تم استخدام وحدة MeV في التعبير عن مقدار الطاقة عند التعامل على المستوى النووي في حين يجب استخدام وحدة eV عند التعامل مع الطاقة على المستوى الذري

وتعتبر الذرات حالات إرتباط بين النوية والإلكترونات

الطاقة	الطول	
MeV	10^{-15} m	النوية ← حالات ارتباط بين { بروتونات / نيوترونات }
eV	10^{-10} m	الذرات ← حالات ارتباط بين النوية والإلكترونات.

توصيف النواة الذرية:

- تحتوي النواة على عدد من البروتونات يساوي Z وعدد من النيوترونات يساوي N

مجموع البروتونات والنيوترونات يسمى عدد الكتلة ويرمز له بالرمز A ⇐ $A = N + Z$

ودائماً $A \geq N \geq Z$ أعداد صحيحة موجبة.

- يرمز لأي عنصر كيميائي بالرمز X ويرمز للنواة وذلك للعنصر بالرمز

$$(A, Z) \equiv {}^{A}X \leftrightarrow {}^{A}_{Z}X \leftrightarrow {}^{A}_{Z}X_N$$

كتلة وحجم النواة — Mass and volum of nucleus

- طالما أن النواة تتكون من بروتونات ونيوترونات، فمن المتوقع أن كتلة النواة تساوي مجموع كتل البروتونات والنيوترونات التي تكونها. هذا التوقع غير صحيح وذلك لأنه هناك قوى جذب بين مكونات النواة أي من قوة التنافر داخل النواة وبالتالي عندما وجدنا نواة وبالتالي عندما وجدنا ذرة واحدة من هذا النوع. هذا التفاعل ينتج من القوة النووية وهي لا تعتمد على الشحنة التي تحملها البروتونات ولذلك فتصبح ثابتة بين البروتونات والبروتونات — البروتونات والنيوترونات — وكذلك بين النيوترونات والنيوترونات. فلم تساوي القوة النووية؟

نظراً لصغر كتلة البروتون أو النيوترون بـ $1{,}67 \times 10^{-27}$ كجم، نقد إ تفضل على إختيار وحدة جديدة للكتل الذرية تسمى " وحدة الكتلة الذرية atomic mass unit (amu) " واتفقوا أيضاً على أنها تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون C^{12}_{6} أي أنه نواة ذرة الكربون-١٢ تزن ١٢ وحدة كتلة ذرية.

- مقارنة بالكيلو جرام فإن وحدة الكتلة الذرية تساوي $1{,}6000 \times 10^{-27}$ كجم وبالتالي يشار إلى كتل الجسيمات النووية والذرية بدلالة وحدة الكتلة الذرية كالآتي

- كتلة البروتون $M_p = 1.007277$ amu
- " " النيوترون $M_n = 1.008665$ amu
- " الإلكترون $M_e = 0.000549$ amu
- " نظير الهيدروجين H^1_1 $M(H^1_1) = 1.007825$ amu

كم يبلغ حجم نواة الذرة؟

- يعتمد حجم النواة على عدد البروتونات والنيوترونات التي تكونها. وحيث أن هذه المكونات من حيث المبدأ تتكون من أصغر حيز فراغي، فيمكن تمثيل النواة كرة نصف قطرها R وتتكون من العدد الكتلي وبالتالي فإن التناسب بين حجم النواة $\frac{4}{3}\pi R^3$ والعدد الكتلي A يكون طردياً بحيث

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \propto A$$

$$\therefore R \propto A^{\frac{1}{3}}$$

$$R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$$

تختلف قيمة الثابت r_0 من نواة عنصر لآخر وكلي من المتوسط تساوي $1{,}25 \times 10^{-15}$ م وحيث أن A للأنوية المعروفة من الطبيعة تقع بين 1 و 240 فإن نصف قطر أكبر الأنوية لا يتجاوز $1{,}4 \times 10^{-14}$ متر أو عشرة مليون متر.

طاقة الترابط النووي Nuclear binding energy

كان يعتقد قبل عام ١٩٠٥ أنه أي شيء في هذا الكون له كتلة أو طاقة واتضح على يد أينشتين أنه كل من الكتلة والطاقة ترتبطان بعلاقة جد بسيطة وهي

$$E_0 = m_0 c^2$$

حيث أن m_0 هي كتلة المادة عند السكون مقدرة بالكيلو جرام

c سرعة الضوء في الفراغ وتساوي تقريباً 3×10^8 متر/ثانية

E_0 تكافئ ما تحتويه المادة من طاقة مقدرة بالجول.

واتفق على حساب الطاقات في المجال النووي بوحدة تسمى MeV أي مليون إلكترون فولت Milion electron Volt أي 10^6 إلكترون فولت eV

- وكلمة ماصود بإلكترون فولت eV هو مقدار الطاقة التي تكتسبها جسيم شحنة تساوي شحنة إلكترون (1.6×10^{-19} كولوم) عند اجتيازه بين نقطتين فرق الجهد بينهما واحد فولت.

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb} \times 1 \text{ Volt} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joul.}$$

$$1MeV = 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ Joul}$$

أو الجول (Joul) يساوي $\frac{1}{1.6 \times 10^{-13}}$ مليون إلكترون فولت (MeV)

● ذكرنا فيما سبق أن كتلة النواة أقل من مجموع كتل مكوناتها. فأين ذهب فرق الكتل؟

تحول إلى طاقة عند تكوين النواة من مكوناتها الحرة ويقدر بـ

$$C^2 \times [\text{عدد البروتونات} \times \text{كتلة البروتون} + \text{عدد النيوترونات} \times \text{كتلة النيوترون} - \text{كتلة النواة}]$$
$$M \qquad M_n \qquad N \qquad M_p \qquad Z$$

هذه الطاقة هي التي تسبب ترابط مكونات النواة ولذلك فهي تسمى بطاقة الترابط النووي.

$$B.E. = [ZM_p + NM_n - M]c^2$$

ملاحظة: عند حساب قيمة طاقة الترابط binding energy نستخدم وحدة الكتلة الذرية لقياس كتل البروتونات والنيوترونات علاوة على مكافئ الطاقة لوحدة الكتل الذرية ويحسب كما يلي

$$1 \text{ amu} = 1.6555 \times 10^{-27} \text{ kg}$$
$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$
$$E_{amu} = (1.6555 \times 10^{-27}) * (3.0 \times 10^8)^2 / (1.6 \times 10^{-13}) \simeq 931 \text{ MeV}$$

وحدات الوزن الذري:

نظراً للصغر المتناهي لوزن الذرة تم تعريف الوزن الذري بالنسبة لوزن ذرة الكربون ^{12}C وتم تسميته بوحدة الوزن الذري (AMU) والتي تم تعريفها على أنها تساوي 1/12 من وزن ذرة الكربون الطبيعي أي أن مول واحد من الكربون يحتوي على 12 غم يساوي 12 وحدة وزن ذري. ومن هنا نستطيع من خلال عدد افوجادرو أن نجد الوزن الفعلي لذرة الكربون من معرفتنا بان 12 غم من الكربون تساوي مول واحد والمول الواحد يحتوي على عدد من الذرات مساوي لعدد افوجادرو أي أن 12غم لكل مول من الكربون مقسومة على عدد افوجادرو يعطينا وزن ذرة الكربون كما يلي:

$$C_{mass} = \frac{12.000 g/mol}{6.0221367\times10^{23} atom/mol} = 1.99926\times10^{-23} g/atom$$

وهذا الوزن يكون حصيلة مجموع وزن ستة بروتونات وستة نيترونات أي انه مجموع اثنا عشر جسيم ذري وبالتالي بقسمة هذا الوزن على 12 نحصل على قيمة الوزن الذري لكل جسيم والذي يساوي وحدة وزن ذري واحدة:

$$1AMU = \frac{1.99926\times10^{-23}}{12} = 1.66\times10^{-24} g$$

وهذه القيمة قريبة جدا من الوزن الحقيقي للبروتون أو للنيترون حيث تبلغ $1.672623\times10^{-24} g$ للبروتون والتي تساوي 1.00727647 وحدة وزن ذري و $1.674928\times10^{-24} g$ للنيترون وتساوي 1.008664923 وحدة وزن ذري.

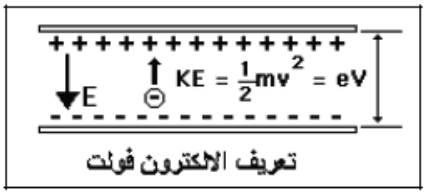
الإلكترون فولت:

من الوحدات المهمة في توصيف طاقة الذرة وجسيماتها ووحدة الإلكترون فولت ، وتعرف على أنها مقدار الزيادة في الطاقة الحركية للجسيم بمقدار وحدة واحدة عندما يتسارع في فرق جهد مقداره فولت واحد. وبناء علية فان الإلكترون فولت يساوي:

$$eV = q\times V$$

حيث eV إلكترون فولت و q شحنة الإلكترون و V فرق الجهد.

$$eV = 1.6\times10^{-19} C\times1V = 1.6\times10^{-19} J$$



مثال:

أنبوب أشعة سينية فرق الجهد بين قطبيته 120 كيلو فولت فما هي طاقة فوتون الأشعة السينية المتولد نتيجة اصطدام الإلكترون المتسارع بالقطب الموجب المصنوع من مادة التنجستون ؟

الحل: طاقة الفوتون المتولد بالإلكترون فولت eV = شحنة الإلكترون مضروبا في فرق الجهد

$$hv = 120000V\times1.6\times10^{-19} C = 1.92\times10^{-14} J$$

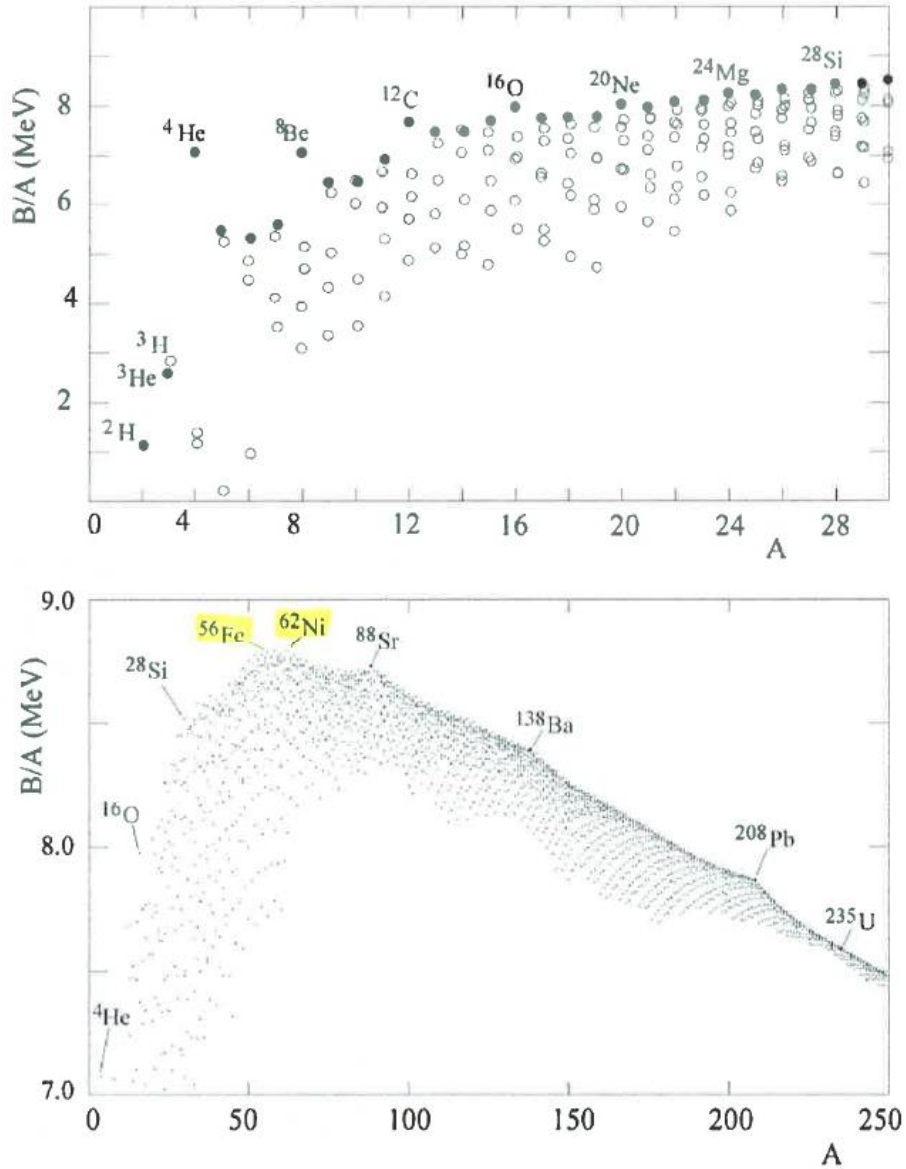
---

(٢) طاقة الترابط النووى

هى الطاقة الازمة لربط مكونات النواة من البروتونات والنيوترونات. وهى تساوى مربع شرعة الضوء مضروباً في الفرق بين مجموع كتل مكونات النواة منفصلة (في حالة حرة) مطروحاً منها كتلة النواة . كتل مكونات النواة في هذه الحالة يتم حسابها بالكيلو جرام وذلك باستخدام المعادلة التالية

$$B(A,Z) = Nm_{\mathrm{n}}c^2 + Zm_{\mathrm{p}}c^2 - m(A,Z)c^2$$

عند قسمة طاقة الترابط النووى على عدد الكتلة، نحصل على طاقة الترابط النووى لكل نيوكليون ويرمز لها بالرمز B/A والتى تصل قيمة عظمى حول قيمة A تتراوح بين 55-60 وهى منطقة الحديد والنيكل كما يتضح من الشكل التالى:



شكل ( ) طاقة الترابط النووى لكل نيوكليون B(A, Z)/A كدالة في عدد الكتلة. الشكل الأعلى هو تكبير لجزء من الرسم السفلى عندما تكون A صغيرة. الدوائر الممتلئة تمثل الأنوية التى لا ينطلق منها جسيمات بيتا (أنوية مستقرة) بينما الدوائر الفارغة تمثل الأنوية المشعة (غير المستقرة) التى ينطلق منها غالباً جسيمات بيتا وبالتالى تصبح الأنوية أخف لنفس مقدار عدد الكتلة A.

النشاط الإشعاعي

مقدمة : ظاهرة النشاط الإشعاعي هي ظاهرة فيزيائية تصف التحلل التلقائي والمستمر لبعض العناصر الطبيعية أو الاصطناعية وهي لا تتأثر بالبيئة أو الظروف الخارجية الموجودة حول العنصر من ارتفاع أو انخفاض في درجة الحرارة أو الرطوبة أو الضغط أو وجود أو عدم وجود بالورة كهربية أو مغناطيسية، حيث أن المعدل الزمني للتحلل ثابت لكل عنصر مشع . ويتبع هذا التحلل خروج أشعة ممثلة في جسيمات ألفا أو بيتا أو موجات كهرومغناطيسية في شكل فوتونات تسمى أشعة جاما.

- وقد تم اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي لأول مرة بواسطة الفيزيائي الفرنسي أنتوني بيكريل عام ١٨٩٦ م وتمت دراسة الظاهرة بالتفصيل بواسطة ساعديه ماريا سكلودوفسكا وبيير كوري، اللذان اكتشفا أيضاً العناصر المشعة الطبيعية أيضاً وهي اليورانيوم والثوريوم والبولونيوم والراديوم .

- أسس الفيزيائيان الإنجليزيان رذرفورد وسودي طريقة أخرى بواسطتها أنه بخلاف العناصر العادية فإن الأنوية الذرية للمواد المشعة ذات تكوين غير مستقر ولهذا السبب فإنها دائماً ما تضمحل باعثة جسيمات ألفا أو بيتا (أنوية ذرات الهيليوم أو الإلكترونات) وبهذا تتحول إلى عناصر جديدة أخف من الأولى .

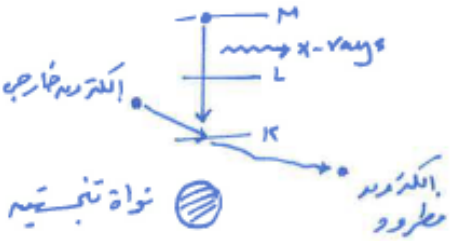
مثال : الراديوم - ٢٢٦ ($_{88}Ra^{226}$) عندما تقذف نواته جسيم ألفا ($_{2}He^{4}$) فإنها تفقد شحنتين موجبتين ونيوترونين وبالتالي تتحول إلى عنصر جديد هو الرادون - ٢٢٢ ($_{86}Rn^{222}$) . أي أن نتيجة تحلل الراديوم هو تكوين عنصرين جديدين - الهيليوم والرادون ومع هذا فإن عملية التحلل ما زالت مستمرة وكذلك للعنصر المشع الجديد وهو الرادون. وقد برهن الرادون - ٢٢٢ على أنه غير مستقر إلى حد بعيد وتقذف نواته جسيم ألفا جديد مكونة مادة مشعة غير مستقرة هي البولونيوم - ٢١٨ ($_{84}Po^{218}$) . هذه العملية من الاضمحلال المتتابع وتكوين أجيال من المواد المشعة تنتهي فقط عندما تتحول كل الكمية الأولية من الراديوم نهائياً إلى الرصاص العادي (الغير مشع - المستقر) وبالتحديد إلى نظير الرصاص الثابت - ٢٠٦ ($_{82}Pb^{206}$) .

ملاحظة بالإضافة إلى العناصر المشعة الطبيعية أمكن إنتاج منذ عام ١٩٢٤ تحويل العناصر المستقرة إلى أخرى غير مستقرة (مشعة) وذلك من خلال قذف أنويتها بالنيوترونات . ويتم إتمام ذلك الآن بواسطة التفاعلات النووية أو معجلات الجسيمات المشحونة .

الأشعة: عبارة عن سيل من الجسيمات النووية أو نبضات الموجات الكهرومغناطيسية تخرج (تنبعث) من الذرة أو نواة الذرة إلى البيئة المحيطة بك. تختلف الأشعة حسب المصدر ونوعك وطاقتك.

- أكثر الأشعة التي نعايشها هي الأشعة الضوئية وتنبعث نتيجة إثارة الكترونات الذرة إلى مستويات طاقة أعلى وعند عودتك إلى وضعك الأصلي ترسل نبضات كهرومغناطيسية من مدى الضوء المنظور.

- أشعة إكس: تنطلق من الذرات الثقيلة مثل التنجستين بعد طرد الكترون من مستوى الطاقة الأقرب للنواة (المستوى K) ومحاولة إلكترون من مستوى طاقة أعلى أن يشغل موضع الإلكترون المطرود.



طرد الإلكترون المستوى K يتم بواسطة الإلكترون آخر مُعجل بأي وسيلة خارج الذرة وعند اصطدامه بالإلكترون من المستوى K يسبب إزاحته من المستوى كلياً.

كيف أيضاً الحصول على أشعة X من ظاهرة تعرف بالمغزلة ولذلك تسمى بأشعة المغزلات حيث ذلك عند اقتراب إلكترون مُعجل آت من خارج الذرة ليصطدم بالمجال الكهربي لكشف حول النواة. عندئذ يتحرك بعجلة سالبة ويفقد معظم طاقته على شكل نبضات موجات كهرومغناطيسية.

- النوع المتحرر من الأشعة يكون مصدره نواة الذرة ويجب أن تكون النواة غير مستقرة أي أحوج إلى فاقد الأشعة - عدم استقرار النواة يأتي من احتوائك على طاقة إضافية زائدة عن مقدار الترابط النووي. طبقاً لمقدار الطاقة الزائدة وكتلة النواة والنسبة بين البروتونات والنيوترونات، يتحدد نوع الأشعة المنبعثة. أكثر أنواع الأشعة النووية شيوعاً هي: جسيمات ألفا (α-particles) - جسيمات بيتا (β-particles) وأشعة جاما (γ-rays). بالإضافة إلى ذلك تنبعث جسيمات أخرى من أنواع الفاقد الأشعة مثل البروتونات أو النيوترونات ولا يحدث ذلك إلا من حالات خاصة وبشروط محددة عند إجراء التفاعلات النووية.

Radioactive decay law. قانون اضمحلال النشاط الإشعاعي

- أي مادة تتمتع بالنشاط الإشعاعي سواء كان طبيعياً أو بسبب تدخل الإنسان فإنها تضمحل (تتحلل - تتفكك) ذاتياً وتتحول إلى
  - عنصر جديد (بانطلاق جسيمات ألفا، β^-، β^+، بروتونات .... أو
  - نظير جديد للعنصر الأصلي بانطلاق نيوترونات أو
  - نفس نظير العنصر وكلها في حالة إستقرار بانطلاق أشعة جاما.

ولنفرض أنه لدينا عدد من الأنوية المشعة لنفس نظير العنصر (عينة نقية) مقداره N_0 وحيث أننا لا نستطيع من خلال القوانين الإشعاعية أو غيرها المتاحة حالياً توقع أي من الأنوية سيضمحل ومتى بعد ذلك بالتحديد القاطع، فإننا نلجأ بالنظر إلى توانيه الإحتمالات ومن ثم فإن إحتمال تفكك نواة معينة من الثانية الواحدة يأخذ قيمة محددة تختلف باختلاف النظير المشع ونرمز لها غالباً بالرمز λ.

- حيث أن عدد الأنوية المشعة في أي عينة يكون كبيراً جداً مهما كانت وزن العينة، فإن احتمال تفكك أي منها في الثانية الواحدة (وحدة الزمن) يكون صغيراً جداً، وهذا يعني أن $\lambda \ll 1$ $\lambda > 0$. فإن إحتمال إضمحلال نواة معينة من زمن قدره dt أو dt (فترة زمنية صغيرة) لابد أنه يساوي λdt أو λdt

- إذا كان عدد الأنوية المشعة في أي زمن هو N فإن إحتمال إضمحلال لهذا العدد خلال فترة زمنية مقدارها dt هو $N\lambda\, dt$، ومن ثم فإن عدد النويات التي يكون أن تضمحل خلال فترة زمنية dt يساوي dN حيث

$$dN = -N\lambda\, dt$$

$$dN = -N\lambda\, dt$$

وضعت الإشارة السالبة للدلالة فقط على أن عدد النويات المتبقية عند أي لحظة دوماً إضمحلال هو دائماً في تناقص مستمر. وهكذا نجد أن

- معدل التغير الزمني لإضمحلال الأنوية المشعة $\left(\frac{dN}{dt}\right)$ يتناسب طردياً مع عدد الأنوية عند نفس اللحظة $N(t)$.

- بفرض أنه لدينا عدد من الأنوية المشعة مقداره N_0 عند بداية متابعتنا للظاهرة $t=0$ فإنه يمكننا معرفة عدد الأنوية التي مازالت مشعة عند أي زمن t كالآتي

$$\because \frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \rightarrow \quad \therefore \frac{dN}{N} = -\lambda\, dt$$

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda\, dt \quad \rightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\therefore \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\therefore N = N_0 e^{-\lambda t}$$

وحيث أن $N_0 > \lambda$ قيم ثابتة خاصة بالعينة تحت الدراسة فإن العدد N هو دالة في الزمن t ولذلك يرمز له بالرمز $N(t)$.

- كفاءة أي عينة إشعاعياً تسمى أيضاً كفاءة العينة أو نشاط العينة أو الشدة الإشعاعية للعينة ويرمز لكل بالرمز $A(t)$ لأنها تعتمد على الفترة الزمنية المنقضية منذ مقايسة تحلل العينة وهي تساوي عدد الذرات المشعة التي تتحلل في الثانية الواحدة

$$A(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

فترة عمر النصف ($T_{\frac{1}{2}}$) Half-life time

- بفرض أنه بمرور الزمن يتناقص عدد الذرات المشعة المتاحة من العينة وهي تم فإنه بعد إنقضاء فترة زمنية (طالت أم قصرت طبقاً لمعدل التحلل في الثانية الواحدة) سنصل إلى أن عدد الذرات التي مازالت مشعة يساوي نصف العدد الأصلي. هذه الفترة الزمنية تسمى "زمن عمر النصف"

- زمن عمر النصف: هو الزمن الذي خلاله يتفكك نصف العدد الأصلي من الذرات المشعة. ويرمز له بالرمز $T_{\frac{1}{2}}$ أو $t_{\frac{1}{2}}$. وهو أحد المصطلحات المهمة لوصف المادة المشعة وهو يعتمد مباشرة ليس على عدد الذرات المشعة وإنما على "ثابت الاضمحلال" λ (إحتمال تفكك نواة معينة في الثانية الواحدة). ويتم حسابه كالآتي

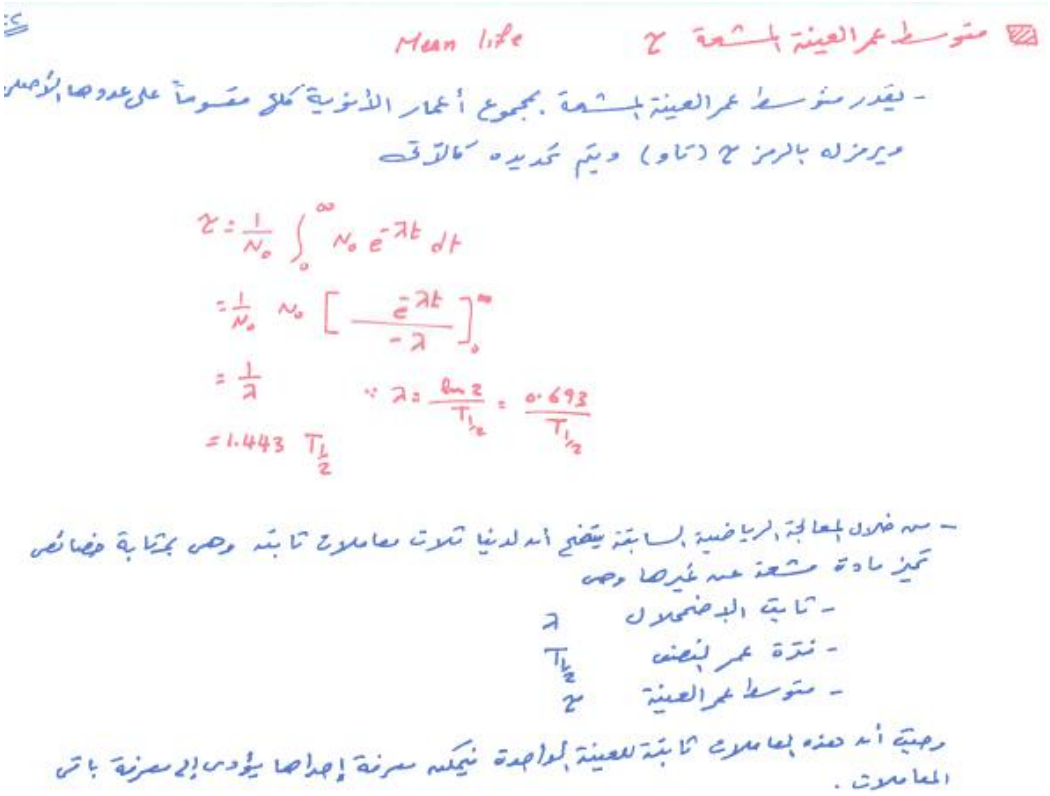
$$\therefore N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{at } t = T_{\frac{1}{2}} \quad \text{then} \quad N(t) = \frac{N_0}{2}$$

$$\therefore \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}}$$

$$\therefore T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$



الانحلال الإشعاعي المتسلسل ***Serial Radioactive Decay*** **:**

عندما تبدأ الذرة بالانحلال الى النواة الابنة ثم بعد ذلك تنحل النواة الابنة الى نواة حفيدة وهكذا لحين وصول الذرة الى حالة الاستقرار ، تدعى هذه العملية بالانحلال الإشعاعي المتسلسل أو المتتابع ومعرفة هذا التتابع مهم جدا في عملية تحديد عدد الذرات لكل عنصر من عناصر السلسلة.

فإذا رمزنا لعدد الذرات ألام بالرمز N_1 وثابت الانحلال λ_1 وعدد الذرات الابنة بالرمز N_2 وثابت الانحلال λ_2 وعدد الذرات الحفيدة بالرمز N_3 وثابت الانحلال λ_3 وكان عدد الذرات الابنة والحفيدة عند الزمن صفر يساوي صفر وعدد ذرات المادة ألام تساوي $N_1 = N_{10}$ أي أن كل الذرات هي للذرة ألام ، وعندما تبدأ بالانحلال فان عدد الذرات المنحلة يساوي عدد الذرات الابنة ، وعندما تبدأ الذرات الابنة بالانحلال فان معدل انحلالها يساوي معدل تكون الذرات الحفيدة أي انه يمكن صياغتها رياضيا بالشكل التالي:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_1}{dt} = \lambda_1 N_1$$

وبحل هذه المعادلات نجد عدد ذرات ألام عند الزمن t وعدد الذرات الابنة وعدد الذرات الحفيدة من المعادلات التالية :

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

عدد الذرات الابنة = $N_2 = (\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1})N_{10}(e^{-\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t})$

عدد الذرات الحفيدة = $N_3 = N_{10}\left[(1 + (\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1})e^{\lambda_2 t} - (\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1})e^{-\lambda_1 t}\right]$

وهذا شريطة أن يكون عدد الذرات الابنة والحفيدة صفر عند الزمن صفر أما إذا كان غير ذلك فان عـ ـدد ذرات الابنة والحفيدة سيضاف الى المعادلات كما يلي:

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

عدد الذرات الحفيدة. = $N_3 = N_{30} + N_{20}(1 - e^{-\lambda_2 t}) + \left[(1 + (\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1})e^{\lambda_2 t} - (\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1})e^{-\lambda_1 t}\right]$

التوازن الإشعاعي *Radioactive Equilibrium* :

أن كلمة التوازن الإشعاعي تعني أن تتساوى معدلات إنتاج الذرات المتولدة مع معدلات انحلالها وهذا التوازن له عدة حالات وهي:

- التوازن الأبدي ***Secular Equilibrium*** :

يحدث هذا التوازن مرة واحد في عمر النواة ويستمر الى النهاية ويحدث هذا التوازن في حالة واحدة وهي أن عمر النصف للذرة ألام اكبر بكثير من عمر النصف للذرة الابنة حيث يتساوى النشاط الإشعاعي للذرة ألام مـ ـع الذرة الابنة كما هو مبين في الشكل (10).

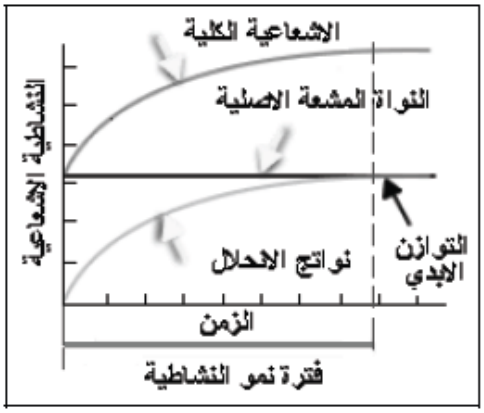
و عندما يكون عمر النصف للذرة الابنة صغير جدا فان قيمة λ_2 لها تكون كبيرة جدا وبما أن عمر النصف للذرة ألام كبير جدا فان λ_1 سيكون صغير جدا أي أنة يمكن كتابة المعادلة في هذه الحالة بالشكل التالي:

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

وبما أن معامل الانحلال للذرة الابنة λ_2 كبير جدا فان الحد الأسى في المعادلة سيؤول الى الصفر لتصـ ـبح المعادلة كما يلي:

$$N_2\lambda_2 = N_1\lambda_{10}$$

ومن هذه المعادلة يمكننا أيجاد قيمة ثابت الانحلال للذرات ذات عمر النصف الكبير جدا عندما يكون عمـ ـر النصف للذرة الابنة صغير بالمقارنة مع الأولى.



الشكل(10):منحنى التوازن الأبدي.

- التوازن الانتقالي ***Transient Equilibrium*** :

النوع الأخر هو التوازن الانتقالي ويحدث هذا التوازن عندما يكون عمر النصف للذرة ألام اكبر أو يساوي عمر النصف للذرة الابنة وفي هذه الحالة يكون ثابت التفكك اكبر من الصفر لذا فان الحد الأسى للذرة الابنة $e^{-\lambda_2 t}$ يقترب من الصفر أسرع من الحد الأسى للذرة ألام $e^{-\lambda_1 t}$ وبعد مرور زمن كافي يحدث التوازن الانتقالي كما هو مبين في الشكل (11).

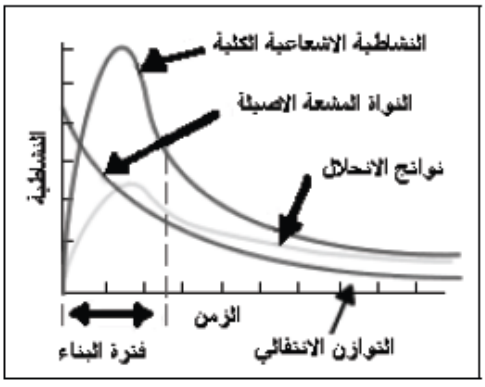
وتكون العلاقة الرياضية لهذا التوازن هي كما يلي:

$$N_2 = (\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1})N_1$$

وهذا يعني بان الذرات ألام تنحل بمعدل يساوي معدل انحلال الذرات الابنة لذا ستكون النسبة بين النشاطية الإشعاعية لكل من الذرة ألام والابنة هي :

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\lambda_1 N_1}{N_2 \lambda_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1}$$

ومن هذه العلاقة فان النشاطية الإشعاعية للذرات الابنة تصبح بعد فترة من الزمن اكبر من النشاطية الإشعاعية للذرة ألام.



الشكل (11) التوازن الانتقالي

● عدم التوازن *No Equilibrium* :

في حالة أن يكون عمر النصف للذرة ألام اصغر من عمر النصف للذرة الابنة فان عدد الذرات للذرة الابنة سيكون بتزايد مستمر لغاية نفاذ الذرات ألام لان عمر النصف الإشعاعي لها اصغر من الذرة الابنة و لا يحدث توازن ابـ ـدأ في هذه الحالة كما هو موضح في الشكل (12).

الشكل (12): عدم التوازن

أن من الجدير ذكره انه في حالة وجود الذرات المشعة ضمن نظام حيوي مثل جسم الكائن الحي فان معـ ـدل التناقص في عدد الذرات الأصلية نتيجة انحلالها ضمن عمر النصف الإشعاعي للذرة يرافقه أيضا تناقص بيولـ ـوجي وحيوي. نتيجة تخلص الجسم من المادة المشعة من خلال العمليات الحيوية مثل الإخراج والإفراز مما يؤدي ذلك الى التخلص من هذه المادة لذا فأننا نحتاج في هذه الحالة لتعريف أخر عمر النصف وهو في هذه الحالة يـ ـدعي عمـ ـر النصف الفعال والذي يعرف على انه لوغارتيم طبيعي للعدد 2 مقسوم على ثابت الانحلال الفعال:

$$T = \ln 2 / \lambda_E$$

وثابت الانحلال الفعال هو مجموع ثابت الانحلال الإشعاعي وثابت الانحـ ـلال البيولـ ـوجي للمـ ـادة المشـ ـعة ويساوي:

$$\lambda_E = \lambda + \lambda_B$$

ويمكن اشتقاق عمر النصف الفعال من هذه المعادلات حيث يساوي:

$$T_E = \frac{T \times T_B}{T + T_B}$$

وهذا مهم في حالة حساب النشاطية الإشعاعية في نظام حيوي كجسم الكائن الحي.

مصادر الإشعاع:

يمكن تقسيم مصادر الإشعاع عمليا إلى مصدرين مهمين أولهم هو الإشعاع الطبيعي وهو المتواجد في الطبيعة مثل الإشعاع الكوني القادم الينا من النجوم والشمس في الفضاء الخارجي والإشعاع المتواجد أصلا منذ نشأة الكون وهو ما يطلق عليه إشعاع الخلفية الطبيعية والذي يشمل أيضا الإشعاع المتواجد في الصخور والمياه والتربة وأجسامنا بشكل طبيعي. والنوع الأخر هو الإشعاع الصناعي الذي هو من صنع الإنسان ويشمل هذا الإشعاع السيني المتولد في أنبوب توليد الأشعة أو من المسارعات الطبية والبحثية وأشعة جاما و ألفا وبيتا المتولدة نتيجة التفاعلات النووية

من المفاعلات النووية والمسارعات وعمليات التنشيط النيتروني أو الفوتوني أو بالتنشيط بواسطة الجسيمات المشحونة وغيرها.

الإشعاع الطبيعي:

الإشعاع الطبيعي مثل الأشعة الكونية التي تنتج نتيجة قذف الأرض والغلاف الجوي بسيل إشعاعي قوي من الشمس والنجوم الأخرى ، ألا أن معظم هذا الإشعاع يمتص في الغلاف الخارجي للكرة الأرضية الذي يعمل كدرع إشعاعي ولا يصلنا منه ألا الجزء اليسير، ولولا هذا الامتصاص لاستحالت الحياة على الكرة الأرضية. والأشعة الكونية تحتوي ما نسبته 87 % بروتونات وحوالي 11 % جسيمات ألفا و 1 % انويه ثقيلة و1 % الكترونات وتتراوح طاقة هذه الحزمة الإشعاعية ما بين $10MeV$ لغاية $100GeV$.

الإشعاع الثانوي الناتج عن تفاعل الجسيمات المشحونة الأثقل والنيترونات مع ذرات الغاز في الغلاف الجوي منتجة إشعاعات ثانوية مثل أشعة جاما وبيتا والبزوترون. نتيجة أصطدم النيترونات مع ذرات الغاز في الهواء مثل النيتروجين والأكسجين تؤدي الى حدوث تفاعل نووي وتصبح هذه الذرات نظائر مشعة مثل الكربون 14 وغيرة من نظائر الغازات المشعة.

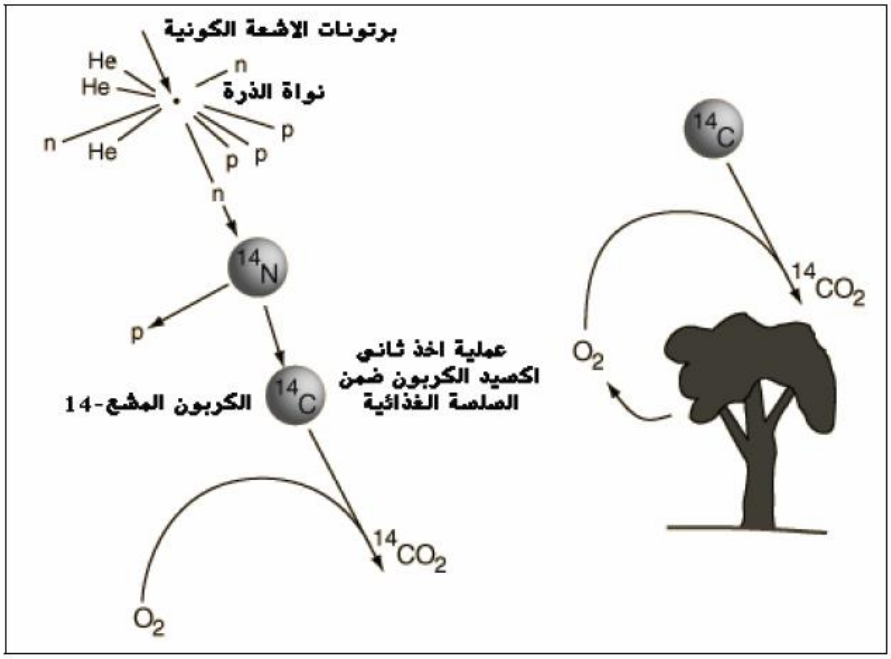
تأتى أهمية إنتاج الكربون المشع في الوقاية الإشعاعية وفي عملية تقدير العمر الفيزيائي للمركبات العضوية كون نظير الكربون المشع المنتج يدخل ضمن السلسة الغذائية للإنسان عند طريق ثاني أكسيد الكربون الذي يستعمله النبات في عملية التحول الضوئي و إنتاج الغذاء كما هو موضح بالشكل (13). هذا بالإضافة إلى معدل الجرعة الإشعاعية الناتجة عن الأشعة الكونية على سطح الأرض نتيجة وصول الإلكترونات والميزونات بسب قدرتها الأكبر على الاختراق من الجسيمات المشحونة الأثقل مثل ألفا والانوية المشحونة، لذا فان معدل الجرعة من الإشعاع الكوني تتزداد مع زيادة الارتفاع عن سطح الأرض وذلك بسبب تناقص سمك الدرع الإشعاعي الجوي المكون من عمود الهواء الذي يصل سطح الأرض أو البحر بكثافة معينة.

كما توجد أيضا ظاهرة فريدة نتيجة تفاعل هذه الجسيمات وتأثرها بالمجال المغناطيسي للأرض وهو تكون أحزمة إشعاعية تدعى بحزام فان ألن كما هو مبين في الشكل (14). الذي يتكون بسب تأثر الجسيمات المشحونة بالمجال المغناطيسي والذي يجعلها تترتب مع خطوط تدفق المجال المغناطيسي على ارتفاع عالي عن سطح الأرض نظرا لقلة احتمالية تفاعلها مع ذرات الغاز التي تكون أصلا قليلة التركيز على هذه الارتفاعات وتبدأ هذه الجسيمات بالتذبذب على شكل حزام مفلطح بين خط عرض 40 درجة شمالاً و40 درجة جنوباً ويقع هذا الحزام بالنسبة للبروتونات على ارتفاع 3000-8000 كم وبالنسبة للالكترونات على ارتفاع 3000كم.

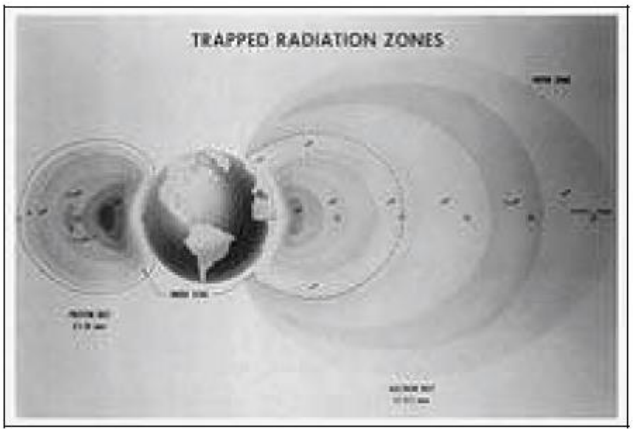
سلاسل الإشعاع الطبيعي:

بالإضافة إلى الأشعة الكونية، تتواجد في الطبيعة أربعة سلاسل انحلال إشعاعي طبيعي وتنتمي أليها معظم العناصر المشعة في الطبيعة. وهذه السلاسل هي سلسة اليورانيوم 238 و اليورانيوم235 (الاكتنيوم) والثوريوم 232 والنبتونيوم 237 سميت بهذه الأسماء نسبة الى اسم العنصر الذي تبدأ به سلسلة الانحلال وهذه العناصر تنتهي بنواة ذرة الرصاص 208 للثلاث الأولى أما بالنسبة الى سلسلة النبتونيوم الأخيرة فتنتهي بالرصاص 209.

وتتميز جميع انويه النظائر في هذه السلاسل بعددها الذري الذي يتجاوز 82 مما يجعل قوى التنافر الكهربائي قوية جدا داخل النواة وهذه القوة الكبيرة تؤدي الى انحلال هذه العناصر وعدم قدراتها على الاستقرار.



الشكل (13): الكربون المشع وطريقة دخوله السلسة الغذائية.

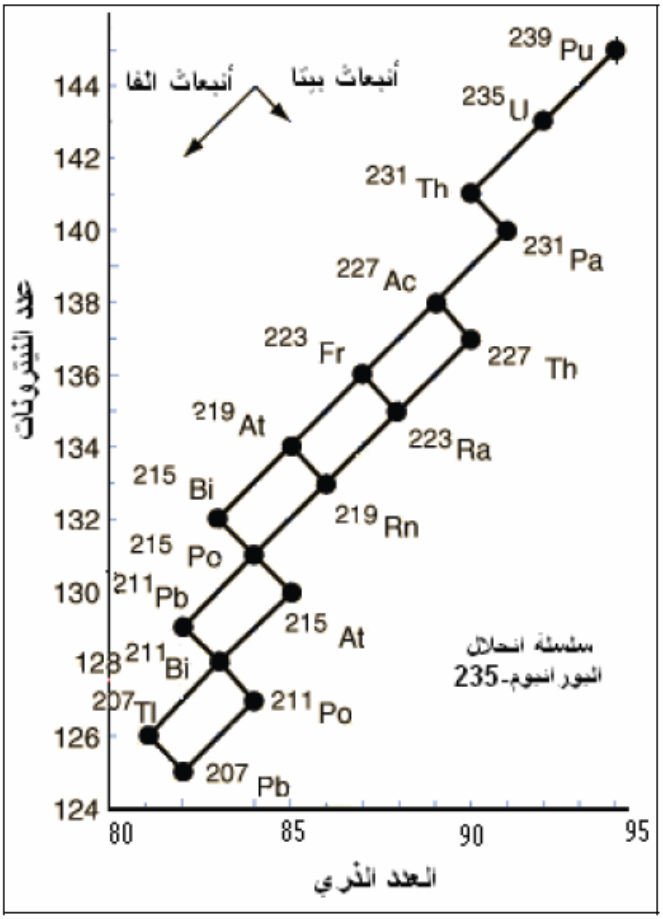


الشكل (14): حزام فان ألن الإشعاعي.

تتواجد الآن السلاسل الثلاث الأولى بالطبيعة أما سلسلة النبتونيوم فلا توجد الآن بسب أن عم ر النصـ ف لأطول عناصرها يبلغ 2.2 مليون سنة بينما يبلغ عمر الأرض أكثر من 3 مليـ ارات سـ نة. وهـ ذه السلاسـ ل الإشعاعية الطبيعية موضحة في الأشكال (15-18) التي تبين التسلسل في الانحلال الإشعاعي لكل سلسة انحلال ولغاية وصولها الى حالة الاستقرار والنواة المستقرة والتي تكون بالعادة نواة الرصاص.

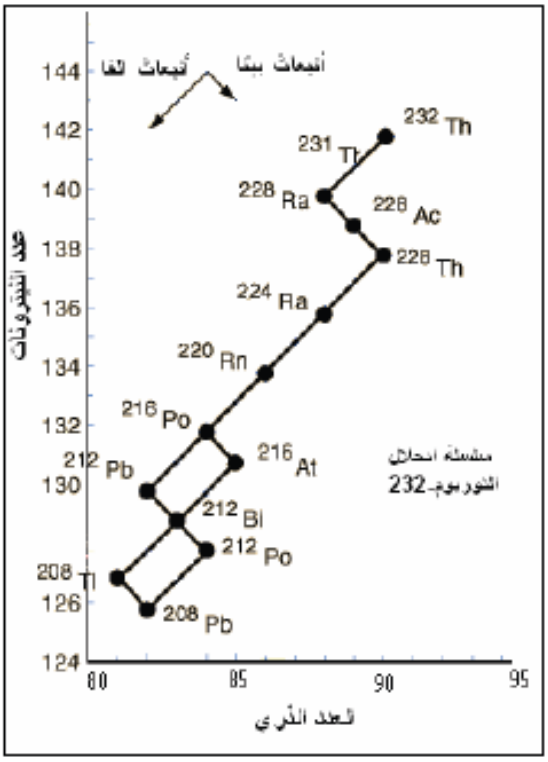
بالإضافة الى السلاسل التي تم ذكرها سابقا توجد انويه ذرات بدائية مشعة طبيعياً مثل البوتاسيوم 40 والربيـ ـديوم 87 وغيرها. وتمتاز هذه الانوية بنصف عمر طويل جداً وإشعاعية نوعية منخفضة مما يجعل عملية الكشف عنـ ـها

صعبة بعض الشيء وهذا مما يجعل الاحتمالية قائمة لإضافة انويه ذرات أخرى لاكتشافها مع تطور آليات الكشف عنها.

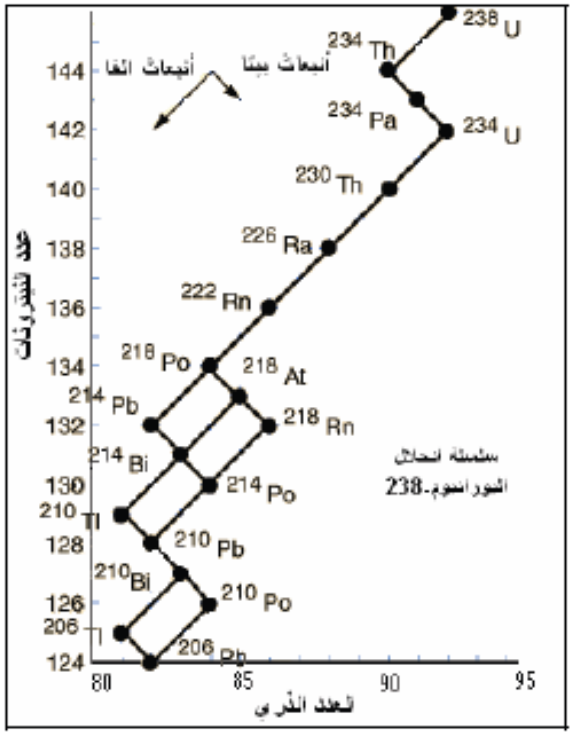


الشكل (15): سلسلة الانحلال الطبيعي (اليورانيوم235)

تعتبر بعض الانوية المشعة طبيعيا مهمة جداً في الوقاية الإشعاعية مثل غاز الرادون وخصوصا في ألام اكن المغلقة والمناجم في حالة عدم وجود التهوية الكافية بالإضافة الى البوتاسيوم والربيديوم لتواجدهم في بيئة الإنس ان بشكل طبيعي وبالتالي فأنها تساهم في الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان نتيجة الإشعاع الطبيع ي حي ث يساهم البوتاسيوم40 بحوالي 40 % من الإشعاع الطبيعي الذي يتعرض له الإنسان كونه يتواجد مع البوتاس يوم الطبيعي الذي يأخذه الجسم.



الشكل (16): سلسلة الانحلال الطبيعي (الثوريوم 232)



الشكل (17): سلسلة الانحلال الطبيعي (اليوراتيوم 238).

مصادر الإشعاع الصناعي:

استطاع الإنسان إنتاج العديد من النظائر المشعة من خلال عملية استحثاث هذه الذرات لتصبح مشعة من خلال عمليات التنشيط بالأسر النيتروني أو بالجسيمات والانوية المشحونة أو من خلال عمليات الانشطار النووي التي تحدث في المفاعلات أو من خلال أنتاج الأشعة الانكباحية.

فمثلا لإنتاج الكوبالت المشع ^{60}Co الذي يستخدم في مجالات طبية وصناعية وبحثية متعددة يتم قذف ^{59}Co بفيض من النيترونات وتقوم نواة الكوبالت 59 بأسر نيترون وتصبح ذرة غير مستقرة وتقوم بالتخلص من عدم الاستقرار هذا عن طريق إشعاع أشعة جاما كما هو موضح بالتفاعل النووي التالي:

$$^{59}Co+^{1}n\rightarrow^{60}Co+\gamma$$

وبهذه الطريقة وغيرها يمكن إنتاج العديد من النظائر المشعة صناعياً لتلائم مختلف الاستخدامات. في العادة تنتج العناصر التي تقذف في النيترونات أشعة بيتا وذلك لزيادة عدد النيترونات عن عدد البروتونات بالنسبة لمنحنى الاستقرار الإشعاعي، وإذا قذفت بيروتونات فأنها تنتج البزوترون الموجب وذلك لزيادة عدد البروتونات بالنسبة الى عدد النيترونات بالإضافة الى أشعة جاما التي ترافق العديد من انبعاثات بيتا والجسيمات الأخرى.

كذلك يمكن استخدام الجسيمات المشحونة مثل ألفا والبروتونات وانويه الذرات التي يتم تسريعها بواسطة المسارعات لإنتاج بعض النظائر فعلى سبيل المثال يتم إنتاج النيترونات من عملية قذف ذرة البيريليوم بجسيم ألفا لإنتاج ذرة الكربون ونيترون كما يلي:

$$^{9}Be+\alpha\rightarrow{}^{12}C+{}^{1}n$$

ويتم إنتاج البروتونات كمثال أخر من خلال عملية قذف ذرة الفسفور ^{31}P بالديترون d ليتكون الفسفور ^{32}P المشع بالإضافة الى بروتون كما هو مبين أدناه:

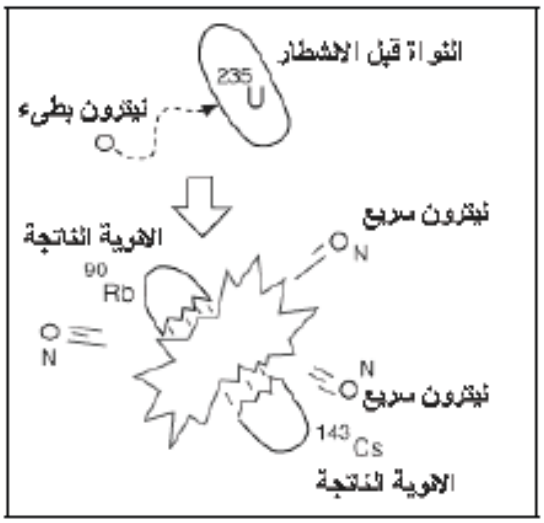
$$^{31}P+d\rightarrow{}^{32}P+{}^{1}p$$

بالإضافة إلى إنتاج النظائر بهذه الطرق فأنه يتم إنتاج نظائر أخرى من خلال عمليات الانشطار النووي حيث تنشطر نواة اليورانيوم عند قذفها بنيترون إلى نواتين مختلفتين ونيترونيين وأشعة جاما وكمثال على ذلك التفاعل التالي لذرة اليورانيوم 235 تتحول الى اليورانيوم 236 مع إطلاق أشعة جاما:

$$^{235}U+{}^{1}n\rightarrow{}^{236}U+\gamma$$

بعد ذلك تنشطر هذه النواة الى نواتين مختلفتين هما نواة غاز الزينون ^{193}Xe ونواة السترونشيوم ^{94}Sr بالإضافة الى ثلاث نيترونات مع طاقة Q تبلغ حوالي $197MeV$ على الأغلب، تتقاسمها نواتج هذا التفاعل النووي ، بحيث تأخذ النواتين حوالي $167MeV$ والنيترونات الناتجة حوالي $5MeV$ وأشعة جاما المنبعثة من الانشطار حوالي $11MeV$ وأشعة بيتا المنبعثة من النواتين المنشطرتين حوالي $7MeV$ وأشعة جاما المنبعثة من النواتين المنشطرتين بعد عملية انبعاث بيتا حوالي $7MeV$ وهذا التفاعل كما يلي:

$$^{236}U\rightarrow{}^{193}Xe+{}^{94}Sr+3n+Q$$

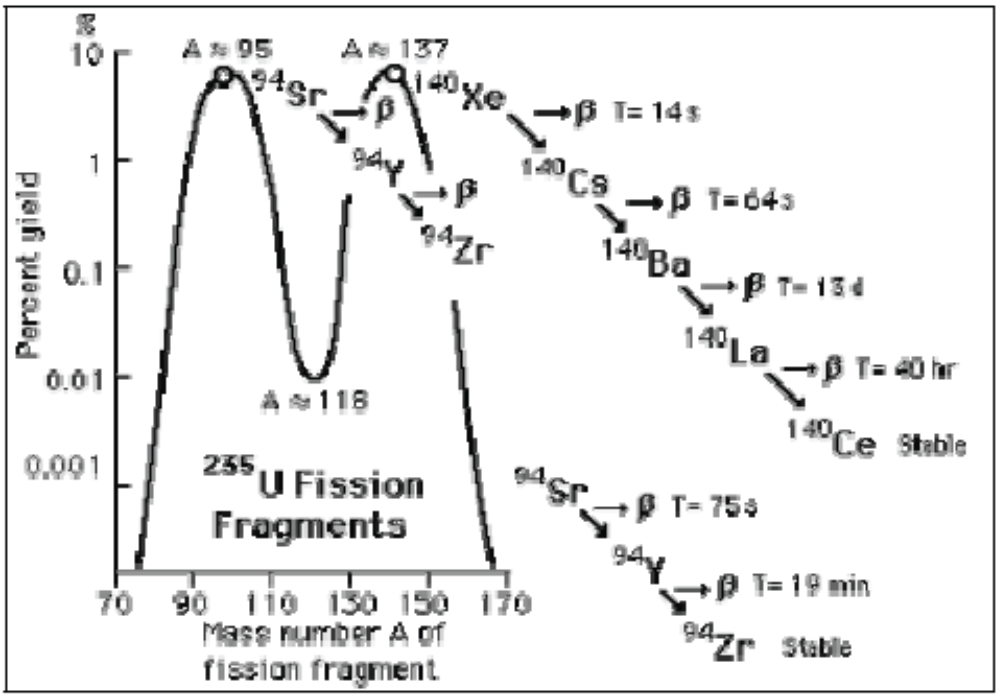


الشكل (19): الانشطار النووي لنواة عنصر اليورانيوم 235.

نواة ذرة الزينون الناتجة عن هذا الانشطار تطلق جسيم بيتا لتتحول الى نواة ذرة السيزيوم 139 نتيجة لوجود زيادة في عدد النيترونات مما يجعلها غير مستقرة، والسيزيوم بدوره يقوم أيضا بإطلاق جسيم بيتا ليتحول الى ذرة الباريوم 139 وهكذا فان عملية الانشطار النووي يرافقها إنتاج انويه لنظائر غير مستقرة تبدأ سلسة من النشاط الإشعاعي بإطلاق الجسيمات وأشعة جاما لحين وصولها الى حالة الاستقرار. لذا في الوقاية الإشعاعية يكون الوقود

النووي المستنفذ والخارج من قلب المفاعل النووي على درجة عالية من النشاط الإشعاعي مما يشكل خطراً كبيراً على الإنسان والبيئة نظراً لوجود طيف واسع من انويه الذرات الناتجة عن عملية الانشطار وتكون غير مستقرة إشعاعيا حيث يحتوي هذا الطيف على حوالي 200 نواة مختلفة تتقاسم الطاقة بينهما كما هو مبين بالشكل (20) بالإضافة الى الجسيمات والإشعاعات الأخرى ، لذا يتم تخزينه بظروف محكمة ومشددة و يتم التعامل معه عن بعد ، بعكس الوقود النووي الذي يتم أعداده ليتم استخدمه بالمفاعلات حيث يكون من الممكن التعامل معه عن قرب.

كما يمكن أيضا إنتاج نظائر مختلفة بواسطة قذف النواة بنواة ذرة أخرى مثل قذف ذرة اليورانيوم 238 بنواة ذرة الأكسجين 16 لإنتاج عنصر الفرميوم 250 بالإضافة الى أربعة نيترونات.



الشكل (20):نواتج الانشطار النووي المختلفة.

إنتاج النظائر المشعة من خلال عملية القذف بالنيترونات أو الجسيمات المشحونة تتطلب بالعادة وجود دفق عالي من هذه الجسيمات، نظراً لصغر احتمالية التفاعل وللحصول على مادة مشعة بكميات تتناسب مع الاستخدام المزمع، فالنيترونات مثلا يجب أن تكون بدفق عالي يتراوح ما بين $10^{12} - 10^{16} neutron/cm^2.s$ ، وهذا الدفق يتوفر في المفاعلات النووية البحثية أو مفاعلات إنتاج الطاقة وبالنسبة الى الجسيمات المشحونة مثل البروتونات وجسيمات ألفا والأنوية المشحونة يتم توفيرها في المسارعات.

كما أنه يمكن توليد الأشعة الانكباحية مثل الأشعة السينية (أشعة أكس) بواسطة أنابيب توليد الأشعة السينية والمسارعات والتي تم التطرق لها سابقاً. كما يوجد مصادر أخرى من خلال عملية الاندماج النووي والاندماج النووي هو عملية اتحاد نواتي عنصرين مختلفين وهما الديتروبوم والترتيوم لتكوين نواة ذرة عنصر جديد مع نيترونات كما هو مبين بالشكل (21) ولحصول هذا التفاعل يجب توفير ظروف خاصة جدا.

وحدات قياس النشاط الاشعاعي

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

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

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

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

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

بكريل واحد 1= ا تفكك في الثانية

كيلوبكريل =10^{3} تفكك في الثانية

ميجابيكريل=10^{6} تفكك في الثانية

جيجابيكريل =10^{9} تفكك في الثانية

تيرابيكريل =10^{12} تفكك في الثانية

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

وسوف نستعرض فيما يلي تفصيل الاشعاع المعرض له الانسان

1 **<u>مصادر التعرض الى الاشعاع</u>**

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

النظائر المشعه الطبيعية

الصخور البركانيه

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

الصخور الرسوبيه

عند تكسر الصخور فان اليوورانيوم اما ان ينتقل مع بقايا الصخور او ان يذوب في المياه السطحية او المياه الحوفية وهو ينتقل بصورة رئيسية على شكل مركبات كاربونية في القعر الرسوبي وفي هذه الحالة فان الترسبات التي في قعر المياه كالطمى تصبح غنية باليورانيوم , ان مركبات الثوريوم تكون عمليا غير ذائبة وهي بذلك اما ان تبقى في محلها في بقايا الصخور المتفتته وتدخل في تركيب املاح ثانوية مثل المونوزايت الذي يحوي على تراكيز عالية من الثوريوم .

النشاط الاشعاعي في التربه

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

النشاط الإشعاعي في الماء

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

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

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 والثورونومن نواتج اضمحلالهما وبالدرجة الاساس النظائر المشعة القصيرة العمر مثلالبونيوم - 218 والرصاص - 218 والبزموث – 224 وبينما تضيف النظائر المشعة الطويلة العمر مثل الرصاص - 210 والبزموث – 210 والبولونيوم – 210 اعداد قليلة في الماثة وتقل تراكيز المواد المشعة المنبعثة ونواتج اضمحلالها القصيرة العمر كلمازاد الارتفاع كما ان تراكيز العناصر المشعة المنبعثة في طبقة الهواء الارضية تكون اكثر من 100 ضعف قوة اليابسة من سطح البحر ان تراكيز العناصر المشعة الطبيعية

التي في الجو . وتتغير تراكيز العناصر المشعة في الجو باختلاف الوقت واعلى تركيز للرادون يتم ملاحظته في ساعات النهار واقل تركيز يكون في فصل الصيف واعلى تراكيز في فصلي الخريف والشتاء . ويؤدي سقوط الامطار بصورة كثيفة الى تنقية الجو نتيجة سحب الجزيئات المشعة العالقة من قبل قطرات المطر وجسيمات الثلج كما ان المصدرالرئيسي لليووانيوم الطبيعي والراديوم _226 في الجو هو تطاير ذرات الغبار من الارض واعادة تعلقها في الجو ويقدر تركيز الفعالية لليورانيوم الطبيعي في الهواء الملامس لسطح الارض بـ MBq1.2 لكل متر مكعب.

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

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

العناصر المشعه فى الكائنات الحيه

يكون النظير المشع البوتاسيوم - 40 واسع الانتشار في الكاثنات ألحيةوهو الذي يحدد بالدرجة الاولي النشاط الاشعاعي في المواد الحية . يعتبرالبوتاسيوم من العناصر الاساسية في الجسم ويخضع تركيزه فيه الي حالة تنظيم داخلي ومعدل تركيز البوتاسيوم في جسم الذكورالبالغين هو جرامان لكل كيلو جرام من الجسم وبذلك يكون تركيز الفعالية هو 60 بكريل لكل كيلو جرام كما تبلغ مكونات النباتات من البوتاسيوم – 40 نحو 0.05% من الوزن الرطب تعتمد مكونات النباتات من اليورانيوم والثوريوم والراديوم الي درجة كبيرة على النشاط الاشعاعي للوسط المحيط وهذه النباتات لا تستطيم عمليا الاحتفاظ بالرادون و الثورون حيث يبلغ انبعاثهما 100% يبلغ ما يؤخذ من اليورانيوم -238 في الاغذية سنويا نحو 5 بكريل في المناطق التي يكون النشاط الاشعاعي طبيعيا فيها .

وتركيز الفعالية لليورانيوم في جسم الانسان يقدر بنحو 0.15 بكريل لكل كيلو جرام من العظام و$3x10^3$ بكريل لكل كيلو جرام في الانسجة الطرية . ان الثوريوم في جسم الانسان يتركز في العظام وهذا التركيز يزداد بتقدم العمر ويبلغ تركيز الفعالية للثوريوم في العظام $3x10^2$ بكريل لكل كيلو جرام من العظام ويقدر$3x10^4$ بكريل لكل كيلو جرامفي الانسجة الطرية . وتركيز الراديوم - 226 في الانسجة الطرية للبشر يبلغ حوالى MBq 2.7 ويمثل البولونيوم -210 حالة مهمة في الكائنات الحية وذلك يأتي بسبب انه موجود في التبغ حيث تحوي السجائر على نحو MBq15 منه وانه كذلك يتركز في الاجزاء التي تؤكل من الاحياء البحرية

2الاشعه الكونيه

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

الاشعه الكونيه الابتدائيه

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

الاشعه الكونيه الناتجه من الكواكب

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

الاشعه الكونيه الشمسيه الابتدائيه

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

الاشعه الكونيه الثانويه

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

النويدات المتولده بفعل الاشعه الكونيه

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

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 انوع من هذه المحطات تستعمل انواع اخرى من الوقود يحصل عليها عادة باستخلاصها من الوقود الذي سبق استعماله .

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

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

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

المواد المشعة الناتجه من تعدين وطحن اليورانيوم

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

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

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

كما ان كمية الرادون - 222 المتولدة من التعدين تتراوح بين (GBq0.1 الي GBq02) لكل طن من اليورانيوم الخام

تولد مطحنة اليورانيوم غبارا مشعا يطرح الي الجو يأتي بالدرجة الاساس من عملية تجفيف المسحوق الاصفر ومن عملية تعبئتة ويكون هذا الغبار حاويا بالدرجة الاساس اليورانيوم – 238 والثوريوم – 232 والراديوم -226 والرصاص - 210 والرادون – 222 تكون بقايا مطاحن اليورانيوم مصادر للاشعاع حتي بعد ايقاف هذه المطاحن عن العمل ومن الممكن ان تكون مصدرا للتلوث لوقت طويل وذلك عن طريق الريح والتآكل الحاصل بواسطة الماء وانبعاث الرادون والوقاية من هذه الحالة تتم باستعمال مواد محلية لتغطية البقايا كالحصو و الطمى او الاغطية الصناعية ومواد الاغلاق مثل الاسفلت . وبالرغم من ان البقايا تحوي بضعة اجزاء بالمائة فقط من اليورانيوم الاصلي فان المصدر الرئيس للاشعاع هو الثوريوم -230 الذي يكون عمر النصف له سنة حيث يقوم بإنتاج الراديوم - 226 الذي يطلق الرادون

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 المشعه الاكثر ثقلا تولد عمليات التخصيب كميات كبيرة من اليورانيرم المستنفد الذي يصبح مصدراً لتعرض السكان فيما اذا ردم او خزن لغرض تحويله الي البلوتونيوم -239 القابل للانشطار ان معظم المصادر الاشعاعية المتولدة من عملية تصنيع الوقود تكون صلبة وان قسما منها يكون على شكل مواد سائلة تجمتع في خزانات للترسيب او في برك وان هذه المواد تكون محتوية على الثوريوم -230 والراديوم -226 يالاضافه الي اليورانيوم -235 واليورانيوم – 234 والثوريوم -234

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

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

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

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

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

تتحرر النفايات المشعة الغازية خلال عملية تنظيم التركيب الكيمياوي والتنقية لماء التبريد في الدورة الاولى والتي تحفظ تحت الضغط في خزانات بين 30-120 يوما لغرض انحلال العناصر المشعة القصيرة

3**مصادر الاشعاع الطبيعيه المصنعه**

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

توليد الطاقه من الفحم الحجري

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

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 .

استغلال الصخور الفوسفاتيه

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

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

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 المستنفدة بعد التعدين بركا لردم النفايات الناتجة من عملية التعدين

4قياس الجرعات الاشعاعيه Dosimetry

يعتمد التأثير الحيوي والفيزيائي والكيميائي للاشعاع علي كمية ونوع وطبيعة وكذلك طاقة الإشعاع الممتص بواسطة المادة . ومن هنا فان تأثير الإشعاع علي المادة يعتمد علي عاملين :

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

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

وسوف نعرض هنا نوعين من الجرعات :

1) **جرعة التعرض** Exposure dose

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

2) **جرعة الامتصاص** Absorbed dose

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

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

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

الروتنجن (R)

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

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

$$\mathrm{IR} = 2.58\times10^{-4} C/Kg$$

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

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

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

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

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 :

$$1\ Rad = 100\ erg/g$$

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

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

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

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

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

يؤدي الي امتصاص جرعه قدرها 4.32 راد

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

$$1\ GY = 100\ rad = 1\ j/kg \qquad (3)$$

حساب الجرعات الاشعاعيه:

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

ويعطي معدل امتصاص الطاقه بالمقدار $E_\gamma\ \mu_a$ mev/Cm^3 s

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

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

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

$$(5)\quad \phi = \frac{3.7\times10^{10}A}{4\pi r^2}\ photon/cm^2$$

تفاعل الإشعاع مع المادة

المقدمة:

الإشعاع سواء كان على شكل جسيمات مثل النيترونات والبروتونات ودقائق ألفا وبيتا ، أو على شكل إشعاع كهرومغناطيسي مثل أشعة جاما وأشعة أكس ، لهما طاقة موصوفة بالإضافة إلى المواصفات الأخرى مثل الكتلة وطاقة الحركة والشحنة ، والتي بمجملها تحدد طبيعة تفاعل هذه الإشعاعات مع المادة . وعموما كل التفاعلات التي تحدث للإشعاع مع المادة سواء أدت الى امتصاص كامل أو جزئي أو تشتت لطاقة الإشعاع ، تعمل على تأين ذرات المادة بجعلها تفقد عدد من الإلكترونات المدارية للذرة لتتركها بحالة تأين نتيجة فقدها هذه الإلكترونات وتكون الذرة في هذه الحالة موجبة الشحنة نتيجة هذا الفقد أو من خلال إثارتها وذلك برفع الإلكترونات الى مدارات أعلى لتترك الذرة بحالة مستثارة ، أو أن يتم تحول الإشعاع من شكل الى أخر مثل الفوتونات الناتجة عن عملية أفناء الإلكترون والبوزترون. ولكن في العموم تفقد الجسيمات المشحونة معظم طاقتها بعملية التأين أما النيترونات والفوتونات فإنها تفقد طاقتها بعملية التشتت والامتصاص ، لذا قام العلماء بدراسة كل هذه التفاعلات المختلفة وهذا ما سنتطرق له خلال هذا الفصل.

طبيعة تفاعل الإشعاع مع المادة:

توجد عدة طرق للتعبير عن تفاعل الإشعاع مع المادة والتي تصف فقدان الجسيمات لطاقتها خلال مرورها في المادة. وأحدى هذه الطرق هو قدرة التوقف ، والتي يرمز لها بالرمز S والتي تعرف بأنها مقدار خسارة الجسيم لطاقته dE على طول مساره dx في المادة حيث يمكن كتابتها على النحو الرياضي التالي:

$$S = -\frac{dE}{dx}$$

تفاعل دقائق الفا والجسيمات المشحونة مع المادة:

دقائق ألفا والانوية المشحونة تكون ذات شحنة كهربائية كبيرة لعدم وجود أي الكترونات مدارية لهما عند خروجها من التفاعل النووي ، وتتفاعل مع المادة من خلال عمليات التأين مع ذرات الوسط المادي نتيجة لقوى التجاذب الكهربائي بينها وبين الكترونات المادة ، حيث تنقل جزء من طاقتها لهذه الإلكترونات بحيث تجعلها قادرة على الانفلات من مدارها وترك الذرة بحالة تأين ، ويتكون في هذه الحالة زوج ايوني هو عبارة عن الإلكترون المنفلت من المدار والذرة المؤينه بالأضافه الى طاقة الإلكترون المنفلت والتي قد تكون كافية للتفاعل مع إلكترون أخر وإخراجه من مداره أيضا. وبسب الشحنة العالية التي تحملها هذه الجسيمات يتميز مسارها بالكثافة العالية من الذرات المتأينه ويكون انتقال الطاقة كبير جدا في المليمتر الواحد لذا تمتاز بصغر مدى مسارها الذي يكون في حدود الميكروميتر داخل المادة وقدرتهاالكثيفة على تأين ذرات المادة.

عند أختراق دقائق ألفا للمادة تبدأ بفقد طاقتها بتأين ذرات المادة وهذا يؤدى الى انخفاض سرعتها ، وبالتالي فأنه يعطيها زمن اكبر تقضيه بالقرب من ذرات المادة مما يزيد من احتمالية حدوث التفاعل بينها وبين ذرات المادة لحين فقد كامل طاقتها وتوقفها ، لتقوم بعد ذلك بحمل الإلكترونات من ذرات المادة لتصبح ذرة هليوم متعادلة كهربائياً. ويمكن لجسيم ألفا بطاقة $(5-7)MeV$ تكوين أزواج أيونيه تصل الى 50-80 ألف زوج ايوني لكل سم في نهاية مسارها. وعرفت هذه الخاصية بقمة منحنى براغ ***Bragg Peak*** والذي يتميز بظهور قمة في نهاية المنحنى نتيجة لزيادة تركيز التأين في نهاية المسار عند تمثيل العلاقة بيانيا بين عدد الأيونات لكل وحدة مسافة مع المسافة وقمة براغ موضحة في الشكل (1).

المدى لجسيمات ألفا والجسيمات المشحونة الثقيلة:

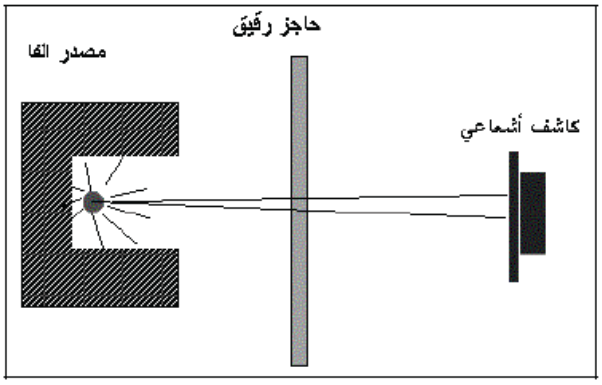
تعتبر جسيمات ألفا أحادية الطاقة أي عند انبعاثها تكون جميع الجسيمات المنبعثة من انويه المـادة الواحـدة متساوية في الطاقة ، لذا لا بد لها أن يكون مداها واحداً في الهواء أو في المادة ، فعلى سبيل المثال لو وضعنا مصـدر إشعاعي لجسيمات ألفا ووضعنا أمامه حاجز رقيق جداً كما هو مبين في الشكل (2) ووضعنا في الطـرف الأخـر كاشف إشعاعي لقياس عدد هذه الجسيمات سنجد بان جميع جسيمات ألفا تقريبا لها نفس المدى، وكلمة تقريبـا هنا تعني أن هناك مدى متوسط لهذه الجسيمات وقد يزيد أو ينقص بمقدار ضئيل جدا نتيجة الانتشار غير المنـتظم لهذه الجسيمات (*Straggling*) ، وعدم الانتظام هذا يكون إحصائي ضمن التوزيـع الطبيعـي لقيـاس هـذه الجسيمات وكما هو موضح بالشكل (3). وفي العادة يقاس مدى جسيمات ألفا بالسنتمتر في الهواء حيث توجـد علاقة رياضية بين طاقة جسيم ألفا ومداه في الهواء وهذه العلاقة كما هو مبين أدناه:

$$R(Range) = 0.325E^{3/2}$$

أو

$$E = 2.12R^{2/3}$$

حيث R تقاس بالسنتمتر في الهواء و E بالمليون إلكترون فولت.



تفاعل جسيمات بيتا مع المادة:

جسيم بيتا هو إلكترون منبعث من داخل النواة وكتلته صغيرة جداً بالمقارنة مع الجسيمات الأخرى ، حيـث تبلغ $3.1\times10^{-28}g$ في حالة السكون ، وصغر كتلة الجسيم يعطيه سرعة فائقة عندما تكون طاقته بحدود المليـون إلكترون فولت وقد تقترب سرعته من سرعة الضوء. وجسيم بيتا يتفاعل مع المادة بعدة طرق وهي التأين المباشـر وأشعة دلتا التي تنتج من الإلكترونات المتأينه وانبعاث الأشعة الانكباحية وإشعاع تشرنكوف.

عند دخول جسيم بيتا إلى المادة فان طاقة حركته وشحنته السالبة تؤثر على إحدى الإلكترونات المدارية عن طريق التنافر الكهربائي فتنزعه من مكانة ويحصل على طاقة حركة يكتسبها من الطاقة الأصلية للجسيم الداخل تاركا الذرة بحالة تأين وقد تصل الطاقة التي يكتسبها هذا الإلكترون في أقصاها نصف قيمة طاقة الجسيم الداخل [139]. وبما أن كتلة جسيم بيتا مساوية لكتلة الإلكترون، فان انحرافها يكون كبير ، لذا فان مسارها يكون متعرج مما يؤدي الى زيادة طوله وتكون كثافة تأينه اقل نظراً لسرعته العالية لذا فان مداه في المادة يكون اكبر لانخفاض معدل فقده للطاقة. فعلى سبيل المثال فان جسيم بيتا بطاقة 3 مليون إلكترون فولت يبلغ مداه في الهواء حوالي 100 سم ويعمل على تأين 50 زوج أيوني لكل سم. فقدرة التوقف التصادمية لجسيم بيتا تختلف عنها في جسيمات ألفا لسببين أولهم هو أن جسيم بيتا يمكن أن يفقد معظم طاقته (نصف الطاقة) خلال تفاعل واحد مع أحد الإلكترونات المدارية والسبب الثاني أن جسيم بيتا مطابق تماما الى للإلكترون المداري مما يجعل من الصعوبة التميز بينهما وفي هذه الحالة يأخذ الإلكترون المداري الطاقة الأقل على أن لا تزيد عن النصف بعكس البزوترون بحيث يمكن أن تنتقل كامل طاقته الى الإلكترون المداري. كما أن جسيمات بيتا تفقد طاقتها من خلال التفاعل

تفاعل اشعة جاما واشعة اكس مع المادة:

تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة أكثر تعقيداً من تفاعل الأنواع الأخرى من الإشعاع مع المادة كون هذه الأشعة طاقة موجيه وتبلغ سرعتها سرعة الضوء و لا يوجد لها كتلة سكون و لا تحمل شحنة كهربائية. وعموما فان تفاعل الفوتون مع المادة محكوم إحصائيا باحتمالية تفاعله في وحدة المسافة التي يقطعها في المادة وهذه الاحتمالية تعتمد على نوع المادة وعلى طاقة فوتون الأشعة. فعندما يتفاعل الفوتون مع المادة فان هناك احتمالية لامتصاصه واحتمالية لان يتشتت بتغير مساره أو بفقد جزء من طاقته أو حتى عبوره دون تفاعل نهائياً. وبرغم

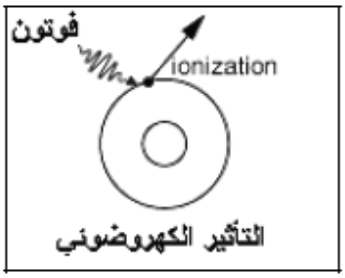
اعتماد تفاعله على الاحتمال الإحصائي ألا أن هذا الاحتمال يقع ضمن أربع آليات رئيسية لتفاعل الفوتون الإشعاعي مع المادة وهذه الآليات هي التشتت المترابط و التأثير الكهروضوئي وتشتت كمبتون والإنتاج الثنائي.

التشتت المترابط:

يعرف هذا التشتت بالتشتت التقليدي وهو يحدث عند مرور الفوتون بجانب إلكترون مداري مما يجعله يتذبذب مع موجة الفوتون مما يؤدي الى إشعاع الطاقة التي اكتسبها من الفوتون الأصلي وقيمة الطاقة التي يبعثها هذا الإلكترون المتذبذب تساوي طاقة الفوتون الممتص ألا أنها تكون في اتجاه مختلف عن الاتجاه الأصلي للفوتون الممتص أي أنه يتم امتصاص طاقة الفوتون ثم بعد ذلك يتم إشعاعها ثانية بنفس الطاقة التي تم امتصاصها بفارق إنها تكون في اتجاه مختلف عن الاتجاه الأصلي بزوايا صغيرة واحتمالية حدوث هذا التفاعل تكون أعلى في المواد ذات العدد الذري الكبير ومع الفوتونات منخفضة الطاقة وعمليا لا يوجد أي اعتبار لهذا النوع من التفاعلات كونه لا يحدث أي تغير على الطاقة وتغير محدود على الاتجاه.

التأثير الكهروضوئي:

ظاهرة التأثير الكهروضوئي هي تفاعل الفوتون مع أحد إلكترونات ذرات المادة مما يؤدي الى انتزاعه من مكانة ويأخذ هذا الإلكترون كامل طاقة الفوتون على شكل طاقة حركية له باستثناء الطاقة المبذولة للتخلص من طاقة ربط إلكترون في مدارة مع الذرة. ويمكن توصيف هذه العملية رياضيا على اعتبار بان هناك فوتون طاقته تساوي $E = h\nu$ يتفاعل مع المادة ، فان طاقة الإلكترون المتروع ستساوي $(E_{elc.} = h\nu - E_b)$ حيث E_b هي طاقة ربط الإلكترون في المدار لذا وحتى يحدث هذا التفاعل يجب أن تكون طاقة الفوتون اكبر من طاقة الربط. وهذا التفاعل يمكن أن يحدث لأي من الإلكترونات في المدارات المختلفة K, L, M, N في الذرة.



الشكل (8) :تفاعل التأثير الكهروضوئي

بعد انتزاع الإلكترون من إحدى هذه المدارات يخلف ورائه فراغاً في المدار وذرة مؤينة أو متهيجة وهذا الفراغ سيتم تعبئته بأحد الإلكترونات من المدارات الأعلى وعند عملية التعبئة هذه سيقوم الإلكترون القادم من المدار الأعلى للطاقة بإنتاج أشعة سينية مميزة طاقتها مساوية لفرق الطاقة بين المدارين مع وجود احتمالية لامتصاص هذه الأشعة من قبل إلكترون أخر لينطلق بطاقة محدودة ويعرف هذا الإلكترون باسم إلكترون أوجي (***Auger***). وهذا الإلكترون بالعادة ينتج من انتقال الإلكترون من المدار L الى المدار K بعد انتزاع إلكترون منه ليشع فرق الطاقة على شكل فوتون تمتص من قبل إلكترون ثان في نفس المدار L أو غيرة ليترك هذا المدار واحتمالية حدوث هذا التفاعل تكون اكبر في المواد ذات العدد الذري المنخفض وطاقة الفوتون المنخفضة لأنه في حالة أن تكون طاقة

تشتت كمبتون:

يعتبر تشتت كمبتون مهم جدا في أشعة جاما واكس ذات الطاقة المتوسطة ($0.5-1MeV$) والمواد ذات العدد الذري القليل كالأنسجة الأكثر حضوراً من التفاعلات الأخرى.وتشتت كمبتون هو ناتج عن تصادم الفوتون مع أحد الإلكترونات المدارية في ذرات المادة مما يؤدي الى نزع هذا الإلكترون من مكانة و إعطاءه جزء من طاقة الفوتون ويسمى بالإلكترون المتحول والفوتون الفاقد لجزء من طاقته يتشتت باتجاه أخر ويسمي الفوتون المتشتت كما هو موضح بالشكل (8).

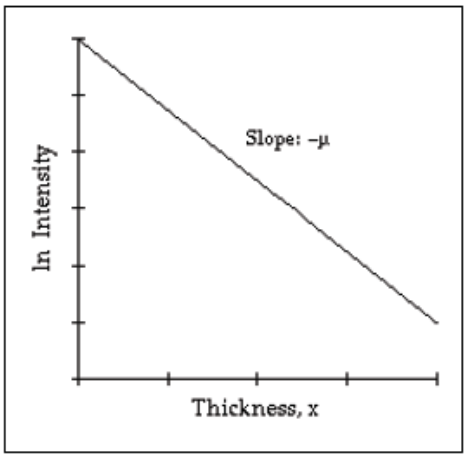
في حالة تشتت كمبتون يمكننا اعتبار الإلكترون المداري المرتبط بالذرة إلكترون حر وذلك بسبب صغر قيمة طاقة الربط للإلكترون في المدار مقارنة بطاقة الفوتون ففي هذه الحالة وعند اصطدام الفوتون بالإلكترون فأنه يعطيه طاقة كافية لينطلق في اتجاه يصنع زاوية مقدارها ϕ مع اتجاه الفوتون الأصلي ويتجه الفوتون المتشتت بعد فقد قيمة من طاقته التي أخذها الإلكترون بزاوية θ. وبتطبيق مبدأ حفظ الطاقة على المحورين السيني والصادي نستنتج بان طاقة الإلكترون المتحول تساوي:

توهين الفوتونات وامتصاصها:

تختلف طبيعة تفاعل الفوتونات عن الأنواع الأخرى من الإشعاع مثل الجسيمات المشحونة ، حيث انه عند عبور هذه الفوتونات المادة فان جزء منها يمتص كاملا والأخر يعبر بدون أي تفاعل والأخير يتم تشتته بعد فقدان جزء من طاقته وباتجاه مختلف ، فإذا كان لدينا حزمة فوتونية من الإشعاع بشدة معلومة (I_0) ومنتظمة هندسيا تعبر حاجز معين بسمك x فان عدد من التفاعلات السابقة ستحصل بين هذه الفوتونات وذرات المادة مما يؤدي الى تغير في شدتها نتيجة الامتصاص والتوهين لهذه الحزمة وكلما زاد سمك المادة الموضوعة كلما زاد التوهين والامتصاص في الحزمة أي انه هناك علاقة تناقص في شدة الحزمة الإشعاعية dI وسمك المادة الموضوع dx ويمكن التعبير عنة رياضياً كما يلي:

$$-\frac{dI}{dx} = \mu I$$

حيث أن μ يدعي معامل التوهين الخطي للمادة ويساوي ميل الخط البياني المستقيم الذي يمثل العلاقة بين سمك المادة ولوغاريتم شدة الحزمة الإشعاعية كما هو مبين في الشكل (11).



الفصل الثاني

القياسات الإشعاعية والوحدات

(المجراعية الإشعاعية)

المجراعية الإشعاعية هو أحد فروع العلوم النووية المتخصصه في تقدير وتكميم القياسات المتعلقة بالإشعاع وما ينتج عنة من تأثيرات بيولوجية وكيميائية وتغيرات في المادة نتيجة كمية الإشعاع التي تعرض لها وحيث تعتبر هـ ـذه القياسات هي الغاية الرئيسية لهذا الفرع من العلوم النووية.

عندما يتفاعل الإشعاع مع المادة فانه ينتج عن هذا التفاعل تأين وتهيج لذرات المادة وبالتالي تكون الإلكترونات الثانوية والتي بدورها قد تنتج الإلكترونات أخرى نتيجة تفاعلها مع المادة وفي النتيجة فان هذه الإلكترونات المنتجة تؤدي الى حدوث التغيرات الكيمائية والبيولوجية في المادة التي تعرضت للإشعاع من خلال عملية انتقال الطاقة من الإشعاع الرئيسي وامتصاصها بالمادة. لذا كان لابد من أيجاد الوسيلة المناسبة لتكميم وتقدير كمية هـ ـذه الطاقـ ـة المترسبة بالمادة وما ينتج عنها من تغيرات.

كميات الإشعاع و وحداته:

التعرض الإشعاعي (*Exposure*) :

يعرف التعرض بأنة مقدار التأين الناتج عن أشعة جاما أو أشعة اكس في الهواء ويقاس بوحدة الرنتجن R التي أدخلت كوحدة من وحدات قياس الإشعاع من قبل المؤتمر العام للإشعاع في العام 1928 في ستوكهولم وهو نفسه المؤتمر الذي تقرر فيه إنشاء اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية *ICRP* حيث عرف هذا التعريف في البداية على أساس الكمية اللازمة من أشعة جاما أو أشعة اكس لإنتاج شحنة كهربائية مقدارها واحـ ـد أيسـ ـو $3.336\times10^{-10}C$ ناتجة عن تأين الذرات في وزن من الهواء مقداره 0.001293 غم وحيث هذا الوزن يحتل حجم مقداره واحد سم مكعب من الهواء على الظروف المعيارية ثم بعد ذلك تم تعريف التعرض من قبل اللجنة الدولية للوقايـ ـة الإشـ ـعاعية على أساس انه مقدار الشحنة الناتجة عن تأين الذرات نتيجة تعرضها لأشعة جاما أو أشعة اكس في وحدة الـ ـوزن ويمكن التعبير عنها رياضيا كما يلي:

$$R=\frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

حيث Q مقدار الشحنات الناتجة عن التأين في وزن من المادة مقداره m من الفوتونات الممتصة كليـ ـا في هـ ـذا الوزن وبالتالي فان واحد رنتجن تساوي:

$$1R=2.58\times10^{-4}C/kg$$

التعرض الإشعاعي ووحدات التعرض الإشعاعي يمكن تطبيقها فقط على فوتونات الإشعاع الكهرومغناطيسـ ـي وفي الهواء.

لو فرضنا بان لدينا حجم من الهواء مقداره واحد سم مكعب على الظروف المعيارية وتم تعريض هذا الحجم للإشعاع وعلى فرض انه تم امتصاص كامل الكمية من الإشعاع ليتكون عندنا شحنة كهربائية مقدارها واحد أيسو فان كمية التعرض تساوي:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta m}=\frac{3.34\times10^{-10}C}{0.001293g/cm^3\times1cm^3\times10^{-3}kg/g}=2.58\times10^{-4}c/kg=1R$$

من المعروف لدينا بان كمية الطاقة اللازمة لتأين ذرة من ذرات المادة وتكوين زوج من الأيونات w تساوي $34eV$ في الهواء فان مقدار واحد رنتجن من التعرض سينتج عندنا العدد التالي من هذه الأزواج الأيونية التي تحمل شحنة مقدارها شحنة الإلكترون:

$$R=\frac{2.58\times10^{-4}C}{kg}\times\frac{1}{1.6\times10^{-19}C/ip}=1.61\times10^{15}ip/kg$$

وبما أن إنتاج زوج واحد من الأيونات سيحتاج الى طاقه مقدارها 34 إلكترون فولت فان إنتاج واحد رنتجن سيحتاج الى طاقة تمتص كليا في وحدة الوزن تساوي :

$$R=1.61\times10^{15}ip/kg\times34ev/ip\times1.6\times10^{-12}\frac{erg}{ev}=8.76\times10^{4}\frac{erg}{kg}=87.6\frac{erg}{g}$$

وهذا يعني بان الطاقة الممتصة في الهواء نتيجة تعرضها الى واحد رنتجن تساوي 87.6 أرج لكل واحد غرام من الهواء.

الجرعة الممتصة *(Absorbed dose)*:

حيث أن تعريف مقدار التعرض الإشعاعي يشمل فقط أشعة جاما وأشعة اكس في الهواء فلا بد في هذه الحالة من أيجاد مفهوم اكبر ليشمل الأنواع الأخرى من الإشعاع والمواد الأخرى وبالخصوص الأنسجة الحية. فقد وجد من الحسابات بان تعرض مقداره واحد رنتجن يؤدي الى امتصاص طاقة مقدارها 85 أرج لكل غرام من النسيج الحي وقد استعمل لهذه الكمية وحدة تدعى وحدة الريب (rep) وهي تعنى المكافئة الفيزيائية للرنتجن وقد استخدمت هذه الوحدة بالبدايات في مجال الوقاية الإشعاعية ولم تعد تستخدم هذه الوحدة ألان حيث تم إيجاد تعريف جديد يشمل جميع أنواع الأشعة وهو ما يدعى بالجرعة الممتصة وتعرف الجرعة الممتصة بأنها مقدار الطاقة الممتصة بالجول في وحدة الوزن من المادة بالكيلو غرام وتقاس بوحدة الجري حيث أن:

$$D=\frac{E}{m}=\frac{J}{kg}$$

حيث D الجرعة الممتصة و E الطاقة الممتصة في المادة m وزن المادة.

$$1Gy=\frac{J}{kg}=\frac{10^7erg}{10^3g}=10^4\frac{erg}{g}=100rad$$

والجرعة الممتصة هي الكمية الفيزيائية الأساسية لقياس الجرعات الإشعاعية غير أن هذه الوحدة غير كافية لغايات الوقاية الإشعاعية لان الضرر الذي قد يصيب النسيج الحيوي يختلف من نوع الى أخر من الإشعاع.

الجرعة المكافئة *Equivalent Dose*:

نظرا لطبيعة تفاعل الإشعاع مع المادة لمختلف الأنواع من الإشعاع وما يحدثه هذا التفاعل من تغيرات في المادة وبالخصوص التأثيرات الحيوية وحتى في حالة نفس الجرعة الممتصة وذلك بسبب اختلاف قدرة كل نوع من الإشعاع

على تأين المادة نتيجة مقدار الانتقال الخطي للطاقة وبالتالي الضرر الناتج عنها فعلى سبيل المثال فان الأثر الحيوي من الأشعة الفوتونية يختلف عن الأثر الحيوي للجسيمات والانوية المشحونة ويختلف أيضا عن الأثر الحيوي الذي تحدثه النيترونات فكان لا بد من إيجاد علاقة ترابط بين هذه التأثيرات والجرعة الممتصة لتقييم هذه التأثيرات ، لذا تم إيجاد ما يدعى بالجرعة المكافئة ، والجرعة المكافئة تساوي الجرعة الممتصة مضروبة بمعامل النوعية للإشعاع Q (ويسمى أيضا بالمعامل المرجح للإشعاع w_R حسب نشرة اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع رقم 60 لسنة 1991)حيث يوجد معامل نوعية لكل نوع من أنواع الأشعة اعتمادا على مقدار التأثير الذي يحدثه في النسيج الحيوي نتيجة لمقدار انتقال الطاقة الخطي وذلك بالاعتماد على قدرة كل نوع من أنواع الأشعة على أحداث التأين في المادة ومقدار هذا التأين يختلف من نوع الى أخر من الإشعاع، فالإشعاع ذو الطاقة الانتقالية الخطية العالية يحدث أضرارا بالمادة الحيوية أكثر بكثير من الإشعاع ذو الطاقة الانتقالية الخطية المنخفضة .

يرمز للجرعة المكافئة بالرمز H حيث أن:

$$H = Q \times D$$

أو حسب التعريف الجديد:

$$H = w_R \times D$$

وتقاس بوحدة السيفرت حيث أن السيفرت تساوي مقدار الطاقة بالجول في وحدة الوزن بالكيلو غرام وهي نفس وحدة الجرعة الممتصة الجري ولكن تم إعطاءها هذا الاسم تجنبا للخلط بينها وتميزها عن الجرعة الممتصة:

$$1Sv = \frac{1J}{kg} = 100rem$$

وقيمة معامل النوعية Q تختلف من نوع الى أخر من الإشعاع وكذلك من طاقة الى أخرى والجدول (1) يبين القيم المختلفة لمعامل النوعية لأنواع مختلفة من الإشعاع وللطاقات متنوعة:

الجدول(1) : القيم المختلفة لمعامل النوعية حسب قيمة الانتقال الخطي للطاقة.

حسب قيمة الانتقال الخطي للطاقة		حسب طاقة الإشعاع		
$LET\ (keV/\mu m)$	$(w_R)=Q$		E	$(w_R)=Q$
3.5 أو اقل	1	النيترونات	اقل من 10 keV	5
7.0 – 3.5	2 – 1		keV100-10	10
23 - 7.0	5 – 2		keV2000-100	20
53 - 23	10 - 5		keV20000-2000	10
175 – 53	20 - 10	البروتونات اكبر من MeV20		5
		دقائق إلفا والانوية المشحونة		20
أشعة جاما و اكس و الإلكترونات والبزترونات والميونات لجميع الطاقات	1	أشعة جاما و اكس و الإلكترونات والبزترونات والميونات لجميع الطاقات		1

من القيم المعطاة في الجدول (1) نلاحظ بان معامل النوعية يكون متساوي لأشعة جاما وأشعة اكس والإلكترونات كون قيمة الانتقال الخطي لهذه الأنواع لا يتجاوز 3.5 كيلو إلكترون فولت لكل ميكرومتر وذلك لان على هذه القيمة وما دونها يكون ثابت ، كون الاعتماد على التأثيرات الحيوية يكون قليل ومحدود لمحدودية هذه التغيرات وتبدأ هذه التغيرات بالظهور بفعالية بعد هذه القيمة ولغاية 175 كيلو إلكترون فولت لكل

الجدول (2): قيم معامل النسيج المرجح للأعضاء والأنسجة.

النسيج أو العضو	العامل المرجح w_T
الجهاز التناسلي	0.2
نخاع العظم	0.12
القولون	0.12
الرئة	0.12
المعدة	0.12
المثانة	0.05
الثدي	0.05
الكبد	0.05
المريء	0.05
الغدة الدرقية	0.05
الجلد	0.01
سطح العظام	0.01
بقية الأنسجة والأعضاء	0.05

هذه العلاقة تكون مناسبة عندما يكون التعرض خارجيا وضمن فترة زمنية معرفة ولكن في حالة امتصاص الجسم لنظائر مشعة فان الجسم يتلقى الجرعة الناتجة عنها طول مدة بقاء هذه المواد في الجسم ، لذا يجب في هذه

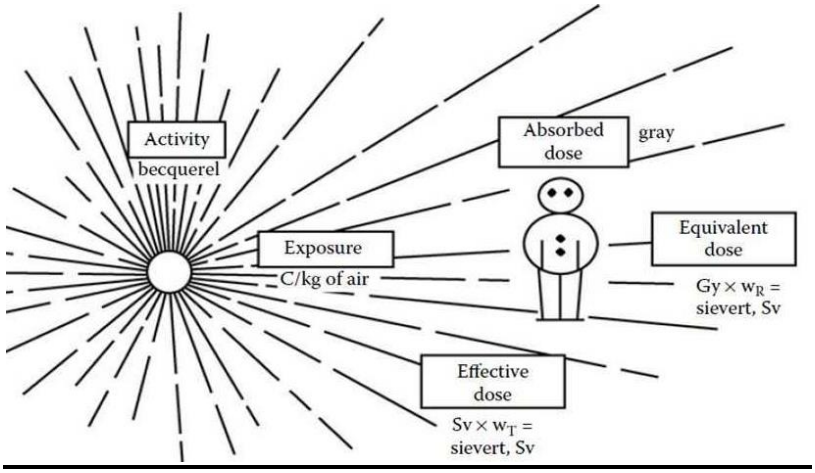
ميكروميتر وتكون قيمة معامل النوعية قد وصلت 20 ، وبعد هذه القيمة تبدأ عملية الثبات في القيمة كون التأثير في النسيج الحي قد وصل حد الإشباع لشدة تركيز الإشعاع ، وبالمقابل يكون تأثيره وفي حالة النيترونات على الطاقات العالية تقل وذلك لانخفاض احتمالية تفاعلها [83].

مكافئ الجرعة الفعالة *Effective Equivalent Dose*:

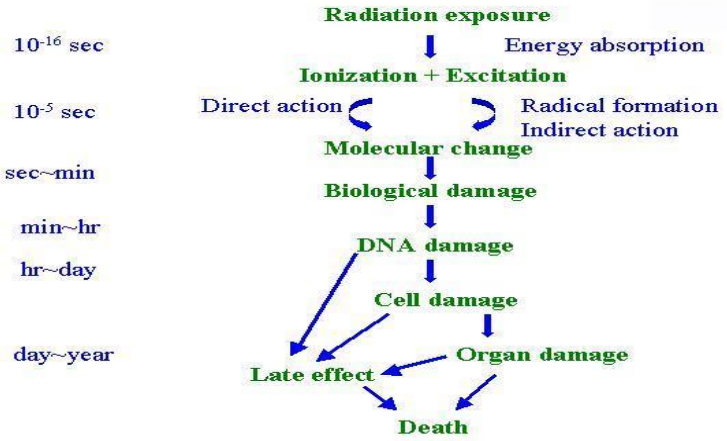
بما أن الجرعة الممتصة تعتمد كليا على قيمة الانتقال الخطي للطاقة ، وقيمة الانتقال الخطي على علاقة وثيقة بموقع انتقال هذه الطاقة في الجسم وبالتالي فان الجرعة المكافئة ستعتمد أيضا على هذه العوامل يكون الخطر من الإشعاع مرتبط بهذه العوامل بالإضافة الى حساسية العضو المتعرض للإشعاع فعلى سبيل المثال فان احتمالية حدوث سرطان الدم نتيجة للتعرض الإشعاعي يكون مرتبط بتعرض خلايا نخاع العظم للتدمير الإشعاعي وبما أن هذه الخلايا تكون في مواقع أعمق في الجسم من غيرها وقابليتها للتأثر بالإشعاع تختلف عن خلايا أخري فأنه ليس من المعقول أن يكون الأثر الإشعاعي على هذا العمق مماثل تماما لعضو أخر اقرب أو حتى مختلف عنة في قابليته للتأثر بالإشعاع في حال التعرض الإشعاعي الكامل للجسم ، ومن هنا كان لا بد من أيجاد معامل مشترك لتوحيد قيمة هذا التأثير على عموم الجسم وتم التعارف على ما يسمى بالجرعة المكافئة الفعالة والتي يرمز لها بالرمز H_E كعلاقة مرتبطة بموقع العضو المتعرض للإشعاع وحساسيته للإشعاع حيث يوجد معامل ذو قيمة معينة لكل عضو اعتمادا على هذه العوامل وسمي بمعامل النسيج المرجح ويرمز له بالرمز w_T حيث أنة من الممكن صيغة هذه العلاقة رياضيا بالشكل التالي:

$$H_E = \sum W_T \times Q \times D$$

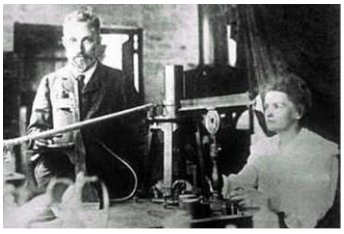
وقيم معامل النسيج المرجح لأغراض الوقاية الإشعاعية يمكن إيجادها من الجدول (2) الذي يمكن من خلال هذه القيم تحديد مقدار الجرعة الفعالة حسب الحساسيات المختلفة للأعضاء والأنسجة بالنسبة للتأثيرات الإشعاعية.



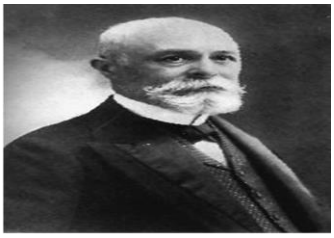
Radiation damage: Time course



علماء ندين لهم بالفضل في مجال البيولوجيا الاشعاعية



ماري وبيير كوري



العالم بيكريل

المالم جراي

العالم رونتجن

الفصل الثالث

قياس الجرعات الداخلية والوقاية الإشعاعية

في حالة دخول المواد المشعة الى داخل جسم الإنسان من خلال الجهاز الهضمي أو الجهاز التنفسي أو من خلال الجروح فان ذلك يؤدي الى استقرار جزء من هذه المواد داخل الجسم وبالتالي تعرض الجسم لجرعة إشعاعية قد تمتص بالكامل في داخل الجسم أو بعض أعضاء الجسم. ولمعرفة هذه الجرعة الإشعاعية الناتجة عن هذه المواد يلزمنا معرفة مسار وتدفق هذه المواد المشعة الى مختلف أعضاء الجسم والية الدخول والاستقرار في الأعضاء أو معدل التخلص منها وخروجها من الجسم وهذه المعرفة في عمليات الايض والعلاقة بين عمليات الأخذ والامتصاص والترسب والإخراج تؤدي بنا الى معرفة جيدة وحقيقية لمقدار الجرعة الناتجة عن دخول المواد المشعة الى جسم الكائن البشري أو الحي بشكل عام.

وبالإضافة الى هذه المعرفة في آلية الجسم وأعضاءه فقد يلزمنا معرفة آلية وجود وحركة المواد المشعة ومواصفتها في البيئة المحيطة بالإنسان وكيفية دخول هذه المواد المشعة الى داخل الجسم من خلال الطعام والشراب أو التنفس أو من خلال الجلد في حالة الجروح وغيرها ومن ثم معرفة الآلية التي تتحرك وتنتقل بها هذه المواد المشعة داخل الجسم الى مختلف أعضاء الجسم وبالتالي إمكانية معرفة وتقييم الجرعات الناتجة عن هذا الأخذ سواء للعاملين أو العامة أو المرضى الذين تتطلب طبيعية تشخيصهم أو علاجهم اخذ مواد مشعة.

المواد المشعة في الهواء والأخذ الداخلي:

أن عملية اخذ المواد المشعة خلال التنفس تعتبر من أهم وأكثر الطرق المتاحة لدخول المواد المشعة الى جسم الإنسان بالإضافة الى إنها الأكثر تعقيدا بسب اعتمادها المباشر على حجم جسيمات المواد المشعة وتوزيعها في الهواء المحيط قبل الأخذ وتصريفها بعد عملية دخولها الجسم من خلال الجهاز التنفسي وذلك من خلال ترسبها في الجهاز التنفسي أو انتقالها الى الجسم من خلال الجهاز التنفسي.

فهذه المواد المشعة والتي تعرف بالسابحات أو المتساقطات (***aerosols***) يمكن أن تكون على شكل قطرات سائلة أو ذرات صلبه من الغبار وتكون بالعادة معلقة في الهواء سواء كانت بشكلها السائل أو الصلب وتدخل عن طريق التنفس الى الجهاز التنفسي واهم ميزة لهذه الجسيمات هو الحجم والوزن حيث أن نسبة الوزن الى حجمها أو بالأحرى المساحة السطحية لها وبالتالي التأثير على توازنها الفيزيائي في الجو حيث أنها تخضع للقوى الفيزيائية الطبيعية مثل قوة الجاذبية الأرضية ولزوجة المحيط الذي تسبح فيه حيث يلعب نصف القطر لهذه الجسيمات المتكونة من الذرات المشعة الدور الرئيسي في نسبة تواجدها في الجو والتي يمكن أن تتواجد بشكل جزيئات مستقلة أو تكتل من الجزيئات أو الذرات المشعة. أما العامل الأخر الذي يلعب دورا في نسبة تواجد هذه المواد هو الانتشار الطبيعي لها نتيجة الطاقة الحرارية التي تكسب هذه الجسيمات أو الذرات طاقة حركية تعمل على حركة هذه المواد بشكل

عشوائي وبمسارات متعرجة ، ويكون لهذا الانتشار أهمية في الجسيمات والجزيئات التي يق ل قطره ا ع ن 0.5 ميكرومتر. وهذه الحركة العشوائية قد تؤدي الى تكتل هذه الجسيمات الصغيرة لتشكل جس يمات اك بر نتيج ة التصاقها ببعض عند التصادم وبالتالي يؤدي الى التأثير على مقدار تركيزها في الجو المحيط.

وبشكل عام فان المواصفات الفيزيائية لهذه السوابح المتساقطة من المواد المشعة تلعب الدور الرئيسي في التأثير على عملية دخول المواد المشعة الى الجسم من خلال الجهاز التنفسي وترسبها فيه أو انتقالها الى أعض اء أخ رى بواسطة الدورة الدموية أو حتى في آلية التخلص منها فعلى سبيل المثال كلما زاد قطر الجسيم فان هناك احتمالي ة اكبر لان يتم تنقيته بواسطة الشعيرات الموجودة في الأنف وعدم دخوله الى القصبات الهوائية والر ئتين وك ذلك بالنسبة الى ترسبها على الغشاء المخاطي المبطن للجهاز التنفسي أو انتقالها الى الدورة الدموية.

أن عملية الأخذ للمواد المشعة من خلال الجهاز التنفسي تعتمد على عاملين مهمين ، الأول مقدار تركي ز المواد المشعة في الهواء الذي يتنفسه الشخص ، والثاني معدل التنفس للشخص ، وبالعادة هذا المعدل مرتبط ب العمر والحالة الفيزيائية والنشاط الجسمي للشخص. أما عملية ترسب هذه المواد ، على سبيل المثال في الجهاز التنفسي فأنها تعتمد على حجمها وعلى انسيابية الهواء داخل الجسم ومثال ذلك فان عملية الترسب في عملية الت نفس خ لال الأنف تختلف عنها في حالة التنفس من خلال الفم ففي الحالة الأولى فان الاحتمالية قائمة لترسب المواد المش عة في شعيرات الأنف وجدران الأنف و من ثم يتخلص الجسم منها بواسطة الإخراج المخاطي والشعيرات ألأنفيه أم ا في الحالة الثانية فان الترسب قد يكون في الحلق والقصبات ويمكن أن يؤدي الى انتقالها الى العقد الليمفاوية أو الجه از الهضمي بواسطة اللعاب والطعام والدورة الدموية والتخلص منها يكون أصعب. هذا بالإضافة الى ترس بها عل ى جدران الأغشية المبطنة للرئتين والشعب التنفسية ، واحتمال أن تنتقل من خلال الدورة الدموية الى ب اقي أعض اء الجسم ولكن هذا لا يمنع أن تتم معالجة الأخذ من خلال الجهاز التنفسي من خلال ال تخلص وتنظي ف المج اري التنفسية والرئتين بوسائل المعالجة التنفسية المتعارف عليها طبيا.

من المعروف جيدا بان الغلاف الجوي يحتوي على العديد من العناصر المشعة بتركي ز م نخفض في الحال ة الاعتيادية واهم هذه العناصر هي العناصر المشعة الغازية مثل الرادون الذي يتولد من عنصر الراديوم الذي يتواجد في القشرة الأرضية نتيجة لوجود اليورانيوم بشكل طبيعي في مكونات القشرة الأرضية وبتركيز قد يبلغ ح والي 40 بيكريل لكل كغم وعند تحلل هذا العنصر تكون النتيجة وجود غاز الرادون ضمن هذه السلسة ال ذي يتص اعد ليستقر في الهواء بعمر نصف إشعاعي يبلغ 3.8 يوم وقد يصل تركيز الرادون في الهواء حوالي 15 بيكريل لكل متر مكعب من الهواء ويتضاعف هذا التركيز بشكل كبير جدا في مناجم اليورانيوم والمناجم الأخرى وفي منشات فصل العناصر المشعة في دورة الوقود النووي مما يشكل خطورة على العاملين فيها وهذا الأمر على قدر كبير من الأهمية في الوقاية الإشعاعية حيث أن ترسبه داخل الجسم خلال عملية التنفس يؤدي الى جرعات إش عاعية ك بيرة نتيج ة استمرار عملية انحلاله داخل الجسم بعد ترسبه وقد يستغرق تأثيره سنوات طويلة جدا. لذا فان عملية اخذ عين ات بشكل مستمر في أماكن العمل لمراقبة مستويات عنصر الرادون أمر في غاية الأهمية لعملية تقدير الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها العاملين في هذا المجال. ولهذه الغاية يستخدم العديد من الأدوات لمراقبة تركيز المواد المشعة في اله واء مثل جهاز مراقبة الهواء المتواصل حيث يتم قياس كمية الهواء المسحوب ***DAC*** من خلال هذا الجهاز وبعد أن تتم عملية الفلتره والتي قد تكون على عدة مراحل أو من قياس تركيز المواد المشعة في الهواء من خلال خاصية الانتشار لهذه العناصر حيث انه من خلال هذا الجهاز يتم قياس حجم ووزن العوالق والسابحات من المواد المشعة بالإضافة الى

طرق حساب الجرعات الداخلية:

من المسلم به بان الجرعة الإشعاعية الممتصة D تساوي مقدار الطاقة المودعة من الإشعاع في وحدة الكتلة والتي تقاس بوحدة الجري والذي يساوي مقدارا من الطاقة يبلغ جول واحد لكل كغم من المادة، كما أن تأثير

الإشعاع على الأنسجة الحية يختلف باختلاف نوع الإشعاع ومدى تأثيره على الخلايا الحية حيث يختلف تأثير الفوتونات عن تأثير الجسيمات مثل بيتا وألفا والنيترونات وهذا الأمر قد تم توضيحه سابقا بما يعرف بمعامل النوعية للإشعاع Q أو معامل الترجيح الإشعاعي W_R كما تم التعارف علية لاحقا وحسب القيم المبينة بالجدول (1) وهذا التحديث أدي الى تعريف الجرعة المكافئة H_T الناتجة عن الإشعاع كما يلي:

$$H_T = \sum_R w_R D$$

وبما أن الأثر الإشعاعي يختلف أيضا من نسيج الى أخر مما ادخل تعريف العامل المرجح للنسيج نفسه W_T وحسب القيم المبينة في الجدول (2)فان هذا أدي الى ظهور تعريف أخر مرتبط بمقدار تأثير نوع الإشعاع في نسيج معين T عرف بالجرعة الفعالة E والتي تساوي:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

الجدول (1) العامل المرجح للإشعاع.

Radiation Type and Energy	العامل المرجح للإشعاع W_R
الفوتونات بمختلف الطاقات	1
الالكترونات ، جسيمات بيتا والميزونات ، بمختلف الطاقات	1
النيترونات < 10 keV	5
النيترونات 10 keV – 100 keV ‘‘	10
النيترونات > 100 keV – 2 MeV	20
النيترونات > 2 MeV – 20 MeV	10
النيترونات > 20 MeV	5
جسيمات ألفا ونواتج الانشطارات النووية	20

الجدول(2) قيم العامل المرجح للأنسجة كما وردت في توصيات ICRP في تقريرها رقم 60 لسنة 1990 [88].

Tissue or Organ	W_T
Gonads (الغدد التناسلية)	0.20
Bone Marrow (نخاع العظم)	0.12
Colon (القولون)	0.12
Lung (الرئة)	0.12
Stomach (المعدة)	0.12
Bladder (المثانة البولية)	0.05
Breast (الثدي)	0.05
Liver (الكبد)	0.05
Esophagus (المرئ)	0.05
Thyroid (الغدة الدرقية)	0.05
Skin (الجلد)	0.01
Bone surface (سطح العظم)	0.01
Remainder (باقي الأعضاء والأنسجة)	0.05

وبما التعرض الإشعاعي سواء من مصدر خارجي أو داخلي يؤدي الى خطورة محتملة وبشكل تراكمي مع مرور الزمن ومن هنا ولغايات الوقاية الإشعاعية تم الافتراض بان التأثير البيولوجي للإشعاع وخطورته مرتبطة ارتباط خطي مع الجرعة المكافئة موزعة على العضو أو النسيج موضع الخطورة بغض النظر عن وقت التعرض لهذا الخطر وبالتالي فان الجرعة التراكمية خلال زمن معين τ كما يلي لمعدل جرعة مكافئة:

برامج الوقاية الإشعاعية والمراقبة للآخذ الداخلي للمواد المشعة

ان وضع برنامج للوقاية الإشعاعية للتعرض الإشعاعي المهني أو التعرض في بعض الظروف الاستثنائية مثل الحوادث النووية والإشعاعية والتي تنطوي على مخاطر كبيرة من حيث تعرض الأشخاص للإشعاع والتلوث وكذلك البيئة أو في المجال الطبي أو البحثي نتيجة الأخذ الداخلي للمواد المشعة تقع على عاتق السلطات والمؤسسات المتعاملة في هذا المجال وتشمل المؤسسات المتعاملة بفصل النظائر المشعة و اعدادها أو معالجتها سواء في دورة الوقود النووي أو تحضير المواد المشعة للأغراض الطبية والبحثية والمستخدمين لهذه المواد في المجال الطبي والبحثي والزراعي و الصناعي وغيره من المجالات التي توجد فيها احتمالية للتعرض الإشعاعي الناتج عن الأخذ الداخلي للمواد المشعة.

مما سبق فقد أعدت الهيئات الدولية والعلمية بعض التوصيات والإرشادات ، مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية والهيئة الدولية للوقاية الإشعاعية بعض المعايير والتوصيات بالتعاون مع العديد من المؤسسات البحثية لهذه البرامج والسبل المثلى لتطبيقها وضمان جودتها ، لتقدير قيمة هذا التعرض الإشعاعي وضمان عدم تجاوزه الحدود الموصى بها ، وحسب ما هو متبع في العديد من دول العالم لغايات الوصول للوضع الأمثل في الوقاية الإشعاعية وحماية العاملين والجمهور والمرضى من مخاطر الإشعاع المؤين.

حدود الجرعات الإشعاعية ومستويات التحقق:

في العادة ، كل برنامج للوقاية الإشعاعية يجب أن يوضح الحدود المقبولة والمعتمدة للجرعات الإشعاعية الناتجة عن كافة التعرضات الإشعاعية، فبالنسبة للعاملين يجب عدم تجاوز حدود الجرعة الموصى بها دوليا وهي 20 ملي سيفرت في السنة أو 100 ملي سيفرت لخمس سنوات متتالية على أن لا تتجاوز كل جرعة مفردة 50 ملي سيفرت في السنة الواحدة من كافة التعرضات الإشعاعية سواء كانت ناتجة عن تعرض إشعاعي خارجي أو نتيجة اخذ داخلي لمواد مشعة من مصادر معروفة ومحددة ، وبناء على هذه القيمة تتم آلية وضع وتصميم واعتماد برنامج الوقاية الإشعاعية. وفي بعض الحالات فانه يصبح من الضرورة بشكل ما وضع مستويات للتحقق IL وهذه المستويات في حال رصدها ضمن برنامج المراقبة واستمرارها قد يؤدي الى تجاوز الحدود المسموح بها للجرعة الإشعاعية يصبح من الضروري اتخاذ الإجراءات اللازمة والناسبة لتصحيح الوضع القائم لضمان عدم تجاوز حدود الجرعة السنوية وهذا المستوى من التحقق يجب اتخاذه في حالة ملاحظة قراءات تفوق القراءات الاعتيادية خلال عملية المراقبة سواء بطريقة القياس المباشر أو قياس العينات المأخوذة من العاملين وهذا المستوى يمكن تحديده من عدة عوامل متعلقة بدورية القياس أو فحص العينة وفي حالة تحديد قيمة حد الأخذ السنوي AIL فان مستوى التحقق في عملية المراقبة الدورية في الزمن T يمكن إيجاده كما يلي:

$$IL = \frac{3}{10} \times ALI \times \frac{T}{365}$$

الفصل الرابع

قواعد الوقاية الإشعاعية

أن الهدف الأساسي للوقاية الإشعاعية هو الحماية من التعرض الإشعاعي أو تقليل مقدار هذا التعرض بالقدر الذي يقلل المخاطر المترتبة عليه ، والتعرض للإشعاع المؤين يتم أما من خلال التعرض للإشعاع من مصدر إشعاعي خارج الجسم وبطاقة قادرة على اختراق الجسم وبدعي بالإشعاع الخارجي أو من خلال التعرض للإشعاع من داخل الجسم نتيجة لدخول المواد المشعة الى داخل الجسم عن طريق الجهاز الهضمي أو التنفسي أو من خلال الجلد.

التعرض الإشعاعي الناتج عن مصدر خارجي للإشعاع قد يكون من جهاز لإنتاج الإشعاع أو قد يكون مادة مشعة يعتمد على نوع وطاقة الإشعاع. فالإشعاع الصادر عن أنبوب الأشعة السينية أو مصادر أشعة جاما أو النيترونات بالعادة قادرة على اختراق الجسم والتأثير علية بالإضافة الى بعض المصادر المشعة لجسيمات بيتا ذات الطاقة العالية يمكنها كذلك اختراق الجسم والدخول الى الأنسجة الداخلية عندما تزيد طاقة جسيم بيتا القصوى عن 300 كيلو إلكترون فولت. إما في حالة جسيمات بيتا المنبعثة من انوية $(^{3}H,^{14}C,^{33}P,^{35}S,^{45}Ca,^{63}Ni)$ فان طاقتها تقل عن 300 كيلو إلكترون فولت ، وبالتالي فان قدرتها على اختراق الجسم محدودة بمدى قصير جدا بحدود 0.1 ملم في نسيج الجلد وبالتالي لا تشكل خطورة على الجسم كمصدر خارجي للإشعاع.

أما التعرض الداخلي فذلك يتم عند دخول العناصر المشعة الى داخل الجسم مما يؤدي حتما الى تعرض الخلايا والأنسجة المحيطة بالنواة المشعة مهما بلغت طاقة الإشعاع وهذا التعرض سيؤدي بدورة الى تعرض هذه الخلايا للخطر. فالتعرض الداخلي يتم عن طريق دخول المواد المشعة الى الجسم عن طريق الجهاز الهضمي أو التنفسي أو الجلد ، نتيجة التعامل مع المواد المشعة أو التلوث أو تناول الطعام والشراب الملوث بالمواد المشعة لذا فانه من المهم جدا تبني الإجراءات الوقائية اللازمة للحد من مقدار التعرض للإشعاع عن طريق اخذ المواد المشعة.

بما أن المبدأ الأساسي للوقاية الإشعاعية هو الحد من التعرض الإشعاعي أو تخفيض قيمة هذا التعرض قدر الامكان، فان تطبيق هذا المبدأ هو العمل على وضع آليات وأسس للتعامل مع المصادر الإشعاعية في الممارسة الإشعاعية و اتخاذ الإجراءات والاحتياطيات اللازمة للحد من التعرضات الناتجة عن المصادر الطبيعية للإشعاع.

ولتخفيض قيمة التعرض الإشعاعي الناتج عن الممارسات الإشعاعية فانه من الممكن توظيف ثلاث مبادئ رئيسية لتخفيض قيمة التعرض الإشعاعي الناتج عن مصدر إشعاعي خارجي وهذه المبادئ:

1- زيادة مقدار المسافة عن مصدر الإشعاع (المسافة).
2- تقليل المدة الزمنية التي يتم خلالها التعامل مع مصادر الإشعاع (الزمن).
3- استخدام الدروع الإشعاعية.

هذه المبادئ يمكن توظيفها بكفاءة في تخفيض مقدار التعرض الإشعاعي الناتج عن مصدر إشعاعي خارجي وغير فعالة في حالة توظيفها لغايات تخفيض مقدار التعرض الإشعاعي الداخلي الناتج عن الأخذ للمواد المشعة داخل

الجسم ولكن يوجد بعض الإجراءات والوسائل التي يمكن توظيفها في مجال الوقاية الإشعاعية للحد من مقدار التعرض الإشعاعي الداخلي وسيتم التطرق لها بشيء من التفصيل في فصول أخرى من هذا الكتاب.

المسافة:

تلعب المسافة دور أساسي في الوقاية الإشعاعية ، حيث أنة كلما زادت المسافة عن مصدر الإشعاع كلما انخفض مقدار التعرض الإشعاعي. فتأثير المسافة على شدة الإشعاع مماثل لتأثير المسافة على شدة الضوء المنبعث من مصدر نقطي فكلما تم الاقتراب من مصدر الضوء كلما زادت شدته والعكس صحيح ، وهذا الأمر ينطبق تماما بالنسبة لمقدار التعرض الإشعاعي ، فكلما تم الابتعاد عن مصدر الإشعاع كلما انخفضت شدته وبالتالي مقدار التعرض الإشعاعي الناتج عنه.

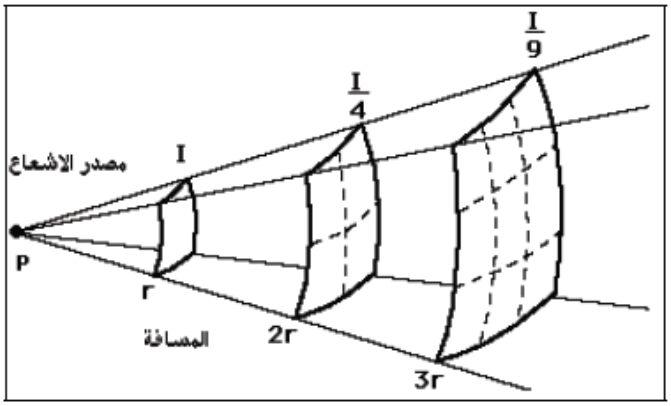
بالنسبة الى الإشعاع الكهرومغناطيسي وفي حال المصدر الإشعاعي النقطي ، الفوتونات الصادرة عن هذا المصدر والتي تمثل شدة المصدر وبالتالي مقدار التعرض الإشعاعي R_0 سوف تنتشر وتتوزع بجميع الاتجاهات بالتساوي (*Omnidirectional*) بشدة معينة (*Intensity*). فلو افترضنا وجود كرة حول هذا المصدر فان نصف قطر هذه الكرة يساوي المسافة الافتراضية وستكون مساحة سطح هذه الكرة تساوي:

$$A = 4\pi r^2$$

وعند هذه المسافة فان مقدار التعرض R_0 سوف يتوزع على كامل سطح الكرة الافتراضي وسيكون مقدار التعرض الإشعاعي عند هذه المسافة R مساويا لمقدار التعرض الأصلي موزعا على مساحة سطح الكرة كما يلي:

$$R = \frac{R_0}{4\pi r^2}$$

ومن المعادلة أعلاه نجد بان مقدار التعرض أو الجرعة الإشعاعية يتناسب عكسيا مع مربع المسافة عن مصدر الإشعاع ويدعى هذا التناسب بقانون التربيع العكسي. وهذا يعني بان لو تم مضاعفة المسافة عن المصدر بمقدار الضعف فان التعرض الإشعاعي سوف ينخفض بمقدار أربعة مرات عن قيمته عند المسافة الأولى كما هو موضح بالشكل (1).

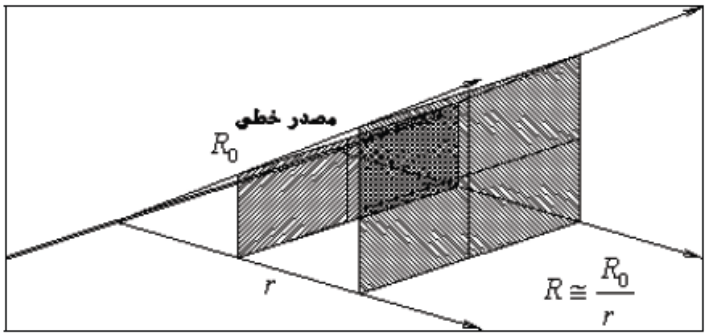


الشكل (1): كيفية انخفاض مقدار التعرض كلما زادت المسافة حسب قانون التربيع العكسي.

فعلى سبيل المثال مقدار التعرض الإشعاعي الناتج عن مصدر إشعاعي من مادة الصوديوم المشع (^{22}Na) نشاطيته الإشعاعية 10 ملي كوري يبلغ $50mR/h$ على مسافة 50 سم من المصدر بينما سيبلغ مقدار التعرض الإشعاعي الناتج عن نفس المصدر على مسافة 100سم من المصدر $12.5mR/h$ وعلى مسافة 200 سم $3.1mR/h$ وهكذا سينخفض مقدار التعرض كلما زادت المسافة ، ومن هنا نجد بان معامل المسافة له فعالية كبيرة جدا في عملية

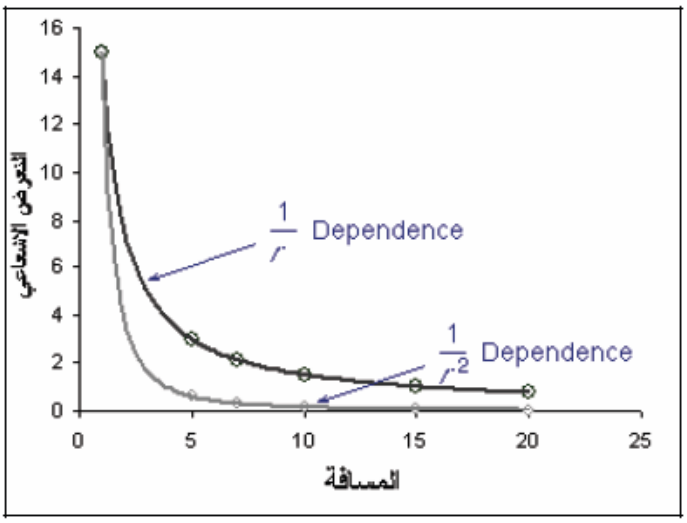
تخفيض الجرعات الإشعاعية الناتجة عن مصدر إشعاع كهرومغناطيسي نقطي فقط حسب قانون التربيع العكسي ، مع العلم بان التعرض الإشعاعي الناتج عن جسيمات بيتا على سبيل المثال لا ينطبق علية قانون التربيع العكسي إلا أن زيادة المسافة ستؤدي حتما لتخفيض مقدار التعرض الإشعاعي ولكن بطريقة مختلفة لا تتبع قانون التربيع العكسي.

أما في حالة وجود مصدر إشعاعي غير نقطي فان الشكل الفيزيائي لمصدر الإشعاع يحدد مقدار الانخفاض في الجرعة الإشعاعية وبالتالي فان كل حالة تدرس على حدة فعلي سبيل المثال إذا كان مصدر الإشعاع خطي كما هو مبين في الشكل (2) فان مقدار الانخفاض في مقدار التعرض يتناسب عكسيا مع مقدار المسافة تقريبا.



الشكل (2): الانخفاض في مقدار التعرض الإشعاعي كلما زادت المسافة عند مصدر إشعاعي خطي.

الشكل (3) أيضا يوضح بيانيا مقدار الانخفاض في الجرعة الإشعاعية كلما ازدادت المسافة عن المصدر الإشعاعي النقطي مقارنة مع المصدر الإشعاعي خطي الشكل مثل المادة المشعة الموجودة في الأنابيب أو المادة المشعة المنتشرة داخل جسم المريض في فحوصات الطب النووي.



الشكل (3): منحنى انخفاض التعرض الإشعاعي مع المسافة للمصدر الإشعاعي النقطي والخطي.

الشكل الفيزيائي لمصدر الإشعاع يحدد بشكل كبير كيفية انخفاض مقدار التعرض الإشعاعي بالنسبة للمسافة عن المصدر وقد تم التطرق لهذا الموضوع في حسابات الجرعة الإشعاعية في فصل سابق من هذا الكتاب.

الزمن:

استنادا للنموذج المستخدم في الوقاية الإشعاعية المتعلق بالاستجابة الخطية للخلايا تحت الحد العتبي للجرعات الإشعاعية ، وبغض النظر عن آلية أعادة بناء الخلايا بحيث يكون مجموع الضرر الذي يصيب الخلايا مجموع تراكمي ، فان هذا الأمر ينعكس سالبا على الخلية بزيادة زمن التعرض الإشعاعي خلال فترة التعامل مع مصدر الإشعاع. وزمن التعرض عامل أساسي في حال التعرض لمصدر إشعاعي خارجي أو خلال فترة اخذ العناصر المشعة في التعرض الإشعاعي الداخلي.

هذا التأثير السلبي لزيادة فترة التعامل مع مصدر الإشعاع وما يترتب علية من تبعات يتطلب وضع الآليات الملائمة لتقليل فترة التعامل مع المصدر المشع وبالتالي تخفيض مقدار التعرض الإشعاعي من خلال توظيف هذا المبدأ في الوقاية الإشعاعية. ويتم توظيف هذا العامل بعدة طرق من أهمها الحرفية أو المهنية العالية في التعامل مع المصدر المشع لإنجاز العمل بأقصر فترة زمنية ممكنة وذلك من خلال التأهيل والتدريب الملائم ورفع مستوى مهنية العامل الإشعاعي من خلال الاستعانة بمصادر وهمية للتدريب قبل التعامل مع المصادر الحقيقية للإشعاع وتدعى هذه الطريقة بالتدوير الأمان (***dry runs***) أو وضع الإجراءات الكفيلة التي تضمن بقاء العامل الإشعاعي اقل فترة ممكنة تحت تأثير مصدر الإشعاع.

بما إن تخفيض مقدار التعرض الإشعاعي والسيطرة علية تتم بتخفيض زمن التعرض فأنة من الممكن حساب ومعرفة مقدار الجرعات الإشعاعية الناتجة عن التعرض الإشعاعي بما يبقيها ضمن الحدود المسموح بها بتقدير الزمن الأكثر ملائمة للتعامل مع مصدر الإشعاع بما يضمن عدم تجاوز الجرعات للحدود المسموح بها كما يلي:

$$Time\ Limit = \frac{DoseLimit}{DoseRate}$$

مع مراعاة تناسق الوحدات أثناء القيام بتقييم الزمن الأكثر ملائمة والذي يؤدي غرض تخفيض الجرعات قدر الامكان. فعلى سبيل المثال مكافئ معدل الجرعة يكون بوحدة السيفرت لكل ساعة وبالتالي فان حدود الجرعة المسموح بها يجب أن تكون بوحدة السيفرت، فإذا أردنا أن نحافظ على حد الجرعة بمقدار لا يتجاوز 1 ملي سيفرت فان الزمن الملائم للتعامل مع مصدر مشع ضمن حقل إشعاعي معدل الجرعة فيه 200 ميكروسيفرت/ساعة سيكون:

$$Time\ Limit = \frac{1mSv}{200\mu Sv/h} = 5hours$$

مثال:

عامل إشعاعي يعمل بحقل إشعاعي ناتج عن خليط من المصادر المشعة مكون من 2 ملي سيفرت/ساعة من مصدر أشعة جاما و 15 ملي جري/ساعة من مصدر جسيمات بيتا و 0.1 ملي جرى/ساعة من مصدر للنيترونات السريعة و 0.3 ملي جرى /ساعة من النيترونات البطيئة فما هو الزمن الملائم لبقاء العامل في هذا الحقل بحيث لا تتجاوز الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها 2 ملي سيفرت ؟

الحل:

أشعة جاما والنيترونات هي الوحيدة القابلة لاختراق الجسم فنقوم بحساب مقدار مكافئ الجرعة وذلك بضربها بمعامل الترجيح (النوعية) المناسب لنوع الإشعاع كما يلي:

$$\begin{gathered} Total\ dose\ rate = \\ \dot{D}_{Gamma} = w_R\, 2.0mGy/h = 1 \times 2.0mGy/h = 2.0mSv/h \\ + \\ \dot{D}_{Slow\ neutrons} = w_R\, 0.3mGy/h = 6 \times 0.3mGy/h = 1.8mSv/h \\ + \\ \dot{D}_{fast\ neutrons} = w_R\, 0.3mGy/h = 20 \times 0.1mGy/h = 2.0mSv/h \\ = 5.8mSv/h \end{gathered}$$

ومن ثم يتم حساب الزمن كما يلي:

$$Time\ Limit = \frac{2.0mSv}{5.8mSv/h} = 0.34hours = 20\min$$

أما بالنسبة للجرعة الناتجة عن جسيمات بيتا فان تأثيرها يكون مقصور على جرعة الجلد نظرا لمدى الامتصاص القصير لهذه الجسيمات.

الزمن عامل مهم في التطبيقات الطبية والصناعية للإشعاع وفي نفس يكون عامل محدود في بعض أنواع هذه التطبيقات فعلى سبيل المثال له أهمية كبيرة في تطبيقات الطب النووي من خلال الفترة الزمنية اللازمة لتحضير المادة المشعة والتعامل مع المريض ومحدود في حالة التصوير باستخدام الأشعة التشخيصية للتصوير التقليدي حيث أن هناك زمن محدد لتعريض الفلم من اجل الحصول على صورة بجودة معينة بينما يكون عامل مهم في التصوير ألتنظيري والفلورسكوبي بحيث يجب أنجاز عملية التصوير بأقل وقت ممكن. أما في حال كان مصدر الإشعاع مسارع للجسيمات المشحونة، هناك فترة زمنية يكون فيها أجزاء من هذا المسارع قد خضعت لعملية تنشيط إشعاعي والتعامل معها في نفس هذه الفترة سيؤدي حتما الى زيادة مقدار التعرض الإشعاعي حتى إذا كان المسارع بوضعية عدم التشغيل كما هو موضح بالشكل (5) الذي يوضح نمو النشاطية الإشعاعية أثناء التشغيل لغاية الوصول لحد الإشباع ومن ثم اضمحلال هذه الإشعاعية بعد فترة زمنية من وضع المسارع بوضعية عدم التشغيل.

التدريع:

عندما يمر الإشعاع خلال المادة فأنة يودع طاقته في المادة من خلال أنتاج الايونات المشحونة كما شرحنا سابقا وبالتالي تعمل المادة على امتصاص طاقة الإشعاع أو توهينها وقدرة المادة على الامتصاص تعتمد على عدة عوامل منها نوع الإشعاع وطاقته ونوع المادة. بالاعتماد على هذا الأمر تم توظيف أنواع مختلفة من المواد بجعلها دروع تحمي من الإشعاع أو تعمل على تخفيض مستواه ودعيت هذه المواد بالدروع الإشعاعية.

نظرا للتنوع الكبير في أنواع الدروع واستجابتها في توهين الإشعاع بناء على نوع وطاقة الإشعاع فان الأمر يتطلب شرح مستفيض لموضوع الدروع الإشعاعية وعلية فننا سنقوم بتقديم شرح مستفيض حول الدروع الإشعاعية في فصل لاحق من هذا الكتاب ولكن المراد في هذا الفصل هو توضيح بان استخدام الدروع الإشعاعية لغايات تخفيض الجرعات الإشعاعية يعتبر من المبادئ الرئيسية في موضوع الوقاية الإشعاعية.

في نهاية هذا الفصل نود التوضيح بأنه قد تكون هناك محددات مختلفة قد تحد من توظيف عامل أو أكثر في عملية تخفيض الجرعات الإشعاعية فقد يكون هذا المحدد هو المسافة وذلك لعدم توفر المسافة الكافية لتوظيفها وفي هذه الحالة فأنة يتم توظيف عامل أخر يكون أكثر ملائمة وأيسر للاستخدام مثل الدروع الإشعاعية أو الزمن. فمن هنا نلاحظ بأنة يمكن توظيف أكثر من مبدأ في الوقاية الإشعاعية معا لغاية العمل على تخفيض الجرعات الإشعاعية أو توظيف مبدأ واحد أو أكثر حسب ما هو متاح بما يتناسب مع الممارسة دون الانتقاص من كفاءة الممارسة أو الحد من جودتها لتحقيق الغاية المرجوة منها.

يمكن تلخيص كيفية توظيف مبادئ الوقاية الإشعاعية الثلاث للعمل على تخفيض مقدار الجرعات الإشعاعية الناتجة عن مصدر إشعاعي خارجي بما يلي:

- تقليل الزمن اللازم للتعامل مع مصدر الإشعاع.
- زيادة الزمن قبل التعامل مع مصادر الإشعاع القابلة للاضمحلال بما يضمن انخفاض مقدار نشاطها الإشعاعي إذا كان ذلك ممكنا.

- العمل على زيادة المسافة عن مصدر الإشعاع لغاية ابعد مسافة ممكنة.
- استخدام الدروع الملائمة حسب نوع الإشعاع وطاقته.
- استخدام عامل أو أكثر أو كل ما هو متاح للحد من مقدار التعرض الإشعاعي كلما كان ذلك ممكنا للإبقاء على معدل التعرض الإشعاعي بأقل قدر ممكن.
- العمل على دراسة مدى كفاءة الأجراء المتخذ في الحد من التعرض الإشعاعي وتجنب أهدار المال والوقت على إجراءات لا تؤثر على عملية الحد من مقدار التعرض الإشعاعي.

الدروع الإشعاعية

هناك العديد من المواد التي يمكن استخدامها لتوهين الأشعة وكدروع واقية من الإشعاع نتيجة قدرة هذه المواد على توهين الإشعاع وامتصاصه. وتستخدم الدروع الإشعاعية لغايات احتواء المصادر المشعة أو عمل الحواجز الواقية من الإشعاع. لذا فان هذه الدروع الإشعاعية تعتبر من المبادئ الرئيسية والهامة في موضوع الوقاية الإشعاعية أو بعبارة أخرى القدرة على السيطرة على الإشعاع بمختلف أنواعه ومصادره من خلال توفير الدرع المناسب والملائم فنياً وهندسياً للمصدر المشع بالاعتماد على طبيعة تفاعل الإشعاع مع المواد المختلفة كما تم شرحه في فصل سابق.

تصميم واختيار المواد المناسبة للدروع الإشعاعية للأنواع المختلفة من المصادر المشعة ، والوضع الهندسي التي توجد به قد يسبب بعض الصعوبة والتعقيد في عملية اختيار الدرع الأكثر ملائمة والأكثر كفاءة في أداء الغرض المفترض والمطلوب منه اعتماداً على نوع الإشعاع وطاقته والوضع الهندسي للمصدر والشكل الفيزيائي له.

الدروع الإشعاعية لجسيمات ألفا:

نظراً لصغر مدى جسيمات ألفا في المادة بسبب كتلتها وشحنتها الكبيرتين بالنسبة إلى الأنواع الأخرى من الإشعاع المتمثل ببضعة عشرات من الميكروميتر في المواد وبضعة سنتيمترات في الهواء تجعل من السهولة جداً تدريعها واحتوائها و اعتبارها كخطر خارجي ضعيف نسبيا على الجسم الحي، لصغر مدى اختراقها فيه بحيث لا يتجاوز مداها الطبقة الميتة في الجلد ($7mg/cm^2$) لأكثر جسيمات ألفا طاقةً ولكنها تعتبر خطر حقيقي وفعال جدا في حالة دخولها جسم الكائن الحي نظرا لكثافة الطاقة المترسبة منها عند امتصاصها.

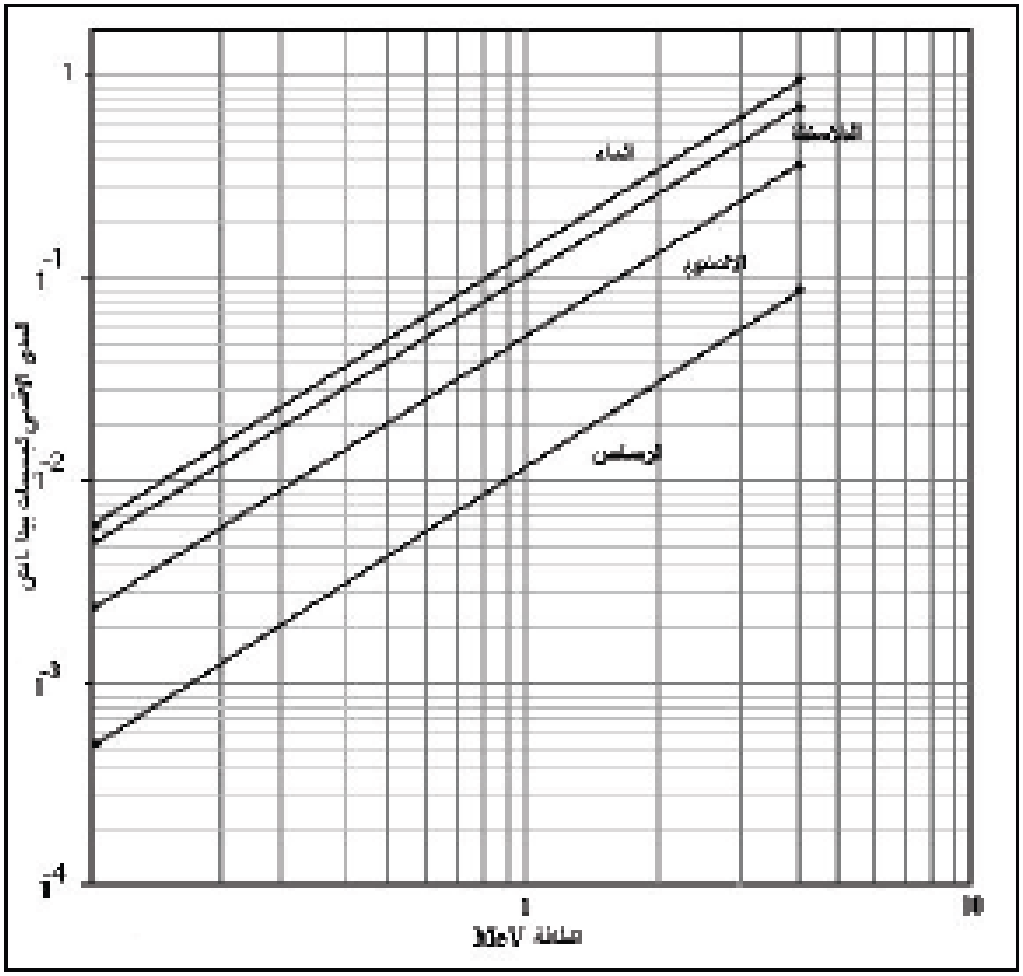
من أكثر الأمور أهمية في عملية تدريع واحتواء مصادر جسيمات ألفا هو عملية تثبيتها ووضعها في أوعية تضمن عدم حدوث تلوث يؤدي الى دخولها الى الجسم بواسطة اللمس أو التنفس أو من خلال الطعام والشراب، وقد يتم هذا الاحتواء بعمل طبقة رقيقة من الطلاء المتماسك أو المثبتات الأخرى جيداً على المصدر لعزله ومنع احتمالية حدوث تلوث أو انتشار لجسيمات ألفا، وهذا كفيل باحتواء وتدريع مصادر ألفا ألا أنه من الضروري التأكد دائما وباستمرار من عملية التثبيت والعزل من خلال التفتيش الدوري، وعمل المسحات الإشعاعية للمنطقة التي تستخدم فيها مصادر ألفا، باستخدام الكاشف الإشعاعي المناسب لهذه الجسيمات وضمان حفظها والتخلص منها ومعالجتها بشكل آمن عند الانتهاء من استخدامها.

الدروع الإشعاعية لجسيمات بيتا:

تمتاز جسيمات بيتا بمداها المحدود في المادة ولكنه أكثر بكثير من مدى جسيمات ألفا وقد يكون أكثر تعرجا ويمكن أن يبلغ عدة أمتار في الهواء تبعا لطاقة الجسيم وقد يصل عشرة أمتار لطاقة 4 مليون إلكترون فولت.

وبما أنها جسيمات مشحونة فأنها تفقد طاقتها في المادة كما ذكرنا سابقا بطريقتين وهي التأين المباشر لذرات المادة وإنتاج الأشعة الانكباحية نتيجة تفاعل الإلكترون وتسارعه في مجال النواة نتيجة قوة الجذب الكهربائي للنواة الموجبة. لذا فان من المهم جداً اخذ هذه الأمور بعين الاعتبار عند تصميم الدرع الملائم لامتصاص أشعة بيتا بأخذ المدى الأكبر لأكثر الجسيمات طاقة نظراً لتنوع طيف الطاقة لجسيم بيتا نتيجة تقاسم الطاقة بين جسيم النيترونيو المرافق، أي أنة يتم اخذ الطاقة القصوى للجسيم عندما تكون طاقة جسيم النيترونيو تساوي صفر، بالإضافة الى الأخذ بعين الاعتبار مدى الأشعة الانكباحية الناتجة والتقليل منها باستخدام المواد قليلة الإنتاج لهذه الأشعة وهي المواد ذات العدد الذري المنخفض.

الدرع الإشعاعي الملائم لجسيمات بيتا يمكن إيجاده بأخذ الاعتبارين السابقين وهما التأين المباشر و إنتاج الأشعة الانكباحية. فالاعتبار الأول يتم فيه معالجة مقدار سمك الدرع اللازم من المادة أو المواد التي ستجتازها الجسيمات والاعتبار الثاني نسبة إنتاج الأشعة الانكباحية في هذه المادة/ المواد وطريقة معالجة تومينها وامتصاصها ولأجل مدى جسيمات بيتا عند الطاقة القصوى يمكن إيجاده من الشكل (1).



الشكل(1): المدى الأقصى لجسيمات بيتا مع طاقة الجسيم القصوى لمواد مختلفة.

كما انه من المتعارف عليه أيضاً هو إمكانية استخدام علاقة التومين اللوغاريتمي لمعرفة سمك المادة اللازمة لتومين جسيمات بيتا كما هو مبين أدناه:

$$I(x)=I_0 e^{-\mu_\rho(cm)}$$

حيث أن μ_ρ معامل الامتصاص، وتكون مقترنة بالطاقة الفصوى لجسيم بيتا، و I هي شدة أو عدد جسيمات بيتا بعد التومين، و I_0 الشدة الأصلية أو العدد قبل التومين، و X سماكة الدرع، و ρx كثافة السماك بوحدة (g/cm^2).

وبما أن μ_ρ يتم التعبير عنة دائما بوحدة (g/cm^2) يكون من الضروري تحديد كثافة السماك أيضا بوحدة (g/cm^2)، والتي يمكن إيجادها بضرب الكثافة بالسمك، ومعامل الامتصاص μ_ρ لجسيمات بيتا في الهواء والماء (الأنسجة) والمواد الأخرى ($\bar{I}$) يمكن إيجاده كاقتران مرتبط بالطاقة من المعادلات التالية:

$$\mu_{\rho,Air}=16(E_{\beta max}-0.036)^{-1.4}$$

$$\mu_{\rho,tissue}=18.6(E_{\beta max}-0.036)^{-1.37}$$

$$\mu_{\rho,I}=17(E_{\beta max})^{-1.14}$$

مثال :

جسيم بيتا بطاقة تساوي 2 مليون إلكترون فولت ذات شدة تساوي 1000 جسيم لكل سم مربع في الثانية تجتاز حاجز من الألمنيوم كثافته 2.7 غم لكل سم مكعب سمكه 0.1 ملم، احسب شدة جسيمات بيتا بعد اجتيازها الحاجز مباشرة (على اعتبار انه لا يوجد مسافة من الهواء بين المصدر والحاجز أو بين الحاجز وجهاز القياس) ؟

الحل: نحسب معامل امتصاص بيتا للطاقة القصوى وهي 2Mel من المعادلة كما يلي:

$$\mu_{\rho,Al}=17(2)^{-1.14}=7.714$$

وكثافة السماك للحاجز

$$0.01cm\times 2.7g/cm^3=0.0274g/cm^2$$

و يمكننا الآن إيجاد شدة جسيمات بيتا بعد الحاجز من خلال التعويض بالمعادلة :

$$I(x)=I_0 e^{-\mu_\rho(cm)}=1000e^{-7.714cm^2/g\times 0.0274g/cm^2}=809.5\beta/cm^2.s$$

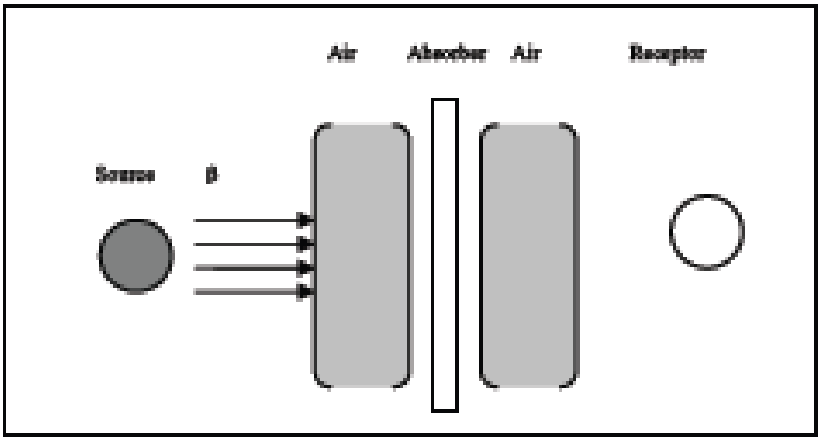
من الضروري ملاحظة انه يجب اعتبار كثافة المواد التي يمكن أن تتواجد على مسار الأشعة بما فيها الهواء، كما هو موضح بالشكل رقم (2)، وفي هذه الحالة يعتبر الهواء مادة بحسب سمكها، ويأخذ هذا السمك بعين الاعتبار عند عملية الحساب.

أما الاعتبار الأخير في عملية حساب الدرع الإشعاعي لجسيمات بيتا فهو الأشعة الانكباحية الناتجة من تفاعل جسيم بيتا مع المجال الكهربائي للنواة ومقدار الأشعة الناتجة يعتمد على طاقة جسيم بيتا E وعلى العدد الذري لمادة الدرع Z ، والإشعاع الناتج يزداد طردياً مع طاقة الجسيم والعدد الذري لمادة الدرع ويمكن حساب مقدار الأشعة الناتجة Y من المعادلة التالية:

$$Y=\frac{6\times 10^{-4}EZ}{1+6\times 10^{-4}EZ}$$

من الأفضل دائما أن يتم اخذ متوسط طاقة جسيم بيتا عوضا عن الطاقة القصوى للجسيم بعدم إيجاد نسبة الأشعة الانكباحية الناتجة، حيث أن متوسط الطاقة لجسيمات بيتا تساوي تقريبا 0.33 من الطاقة القصوى.

كما أنة من الأفضل أيضا، استخدام المواد ذات العدد الذري القليل، مثل الألمنيوم والبلاستيك عوضاً عن الرصاص، لتجنب زيادة مقدار الأشعة الانكباحية وخصوصا لمصادر جسيمات بيتا ذات النشاطية الإشعاعية العالية مثل $^{32}P(E_{max.} = 1.71Mev)$ و $^{90}Sr(E_{max.} = 2.28Mev)$.



الشكل (2): يجب اعتبار الهواء الموجود بين الحاجز ومصدر جسيمات بيتا وجهاز القياس كمسمك في الحسابات.

مثال:

مصدر مشع لجسيمات بيتا ^{32}P نشاطه الإشعاعي 10 كوري، مذاب في سائل حجمه 50 مل. قم بتصميم الدرع المناسب له، بحيث لا تتجاوز كمية التعرض الإشعاعي منه على بعد متر ونصف 1 ملي رنتجن لكل ساعة، علما بان الطاقة القصوى للجسيم هي $(E_{max.} = 1.71Mev)$، في حال عمل الدرع بلاستيكي كثافته $0.93g/cm^3$ وكثافة السمك البلاستيك هو $(0.8g/cm^3)$ أو $(1.25cm^3/g)$، عند الطاقة القصوى والعدد الذري الفعال لمادة البلاستيك يساوي 7.22 :

الحل:

بما أننا اخترنا مادة البلاستيك وكثافة السمك معروفة له $(0.8g/cm^3)$ فأنه يلزمنا على الأقل سمك يساوي:

$$1.25\frac{cm^3}{g}\times 0.93\frac{g}{cm^3} = 1.163cm^{-1} = 0.86cm$$

وهذا السمك كافي لإيقاف جسيمات بيتا ولكن ألان يلزمنا معرفة مقدار الأشعة الانكباحية الناتجة عن مرور وتوقف جسيمات بيتا في هذه المادة والتي يمكن إيجادها كما يلي:

أولاً: نجد قيمة الطاقة المتوسطة لجسيمات بيتا والتي تساوي 0.333 من الطاقة القصوى للجسيم وتساوي في هذه الحالة حوالي 0.6 مليون إلكترون فولت. ثم بعد ذلك نوجد نسبة الأشعة الانكباحية الناتجة على الطاقة القصوى كما يلي:

$$Y = \frac{6\times10^{-4}\times1.71\times7.22}{1+6\times10^{-4}\times1.71\times7.22} = 7.4\times10^{-3}$$

ثم نجد معدل الطاقة الناتجة من 10 كوري من المصدر المشع بمتوسط طاقة يساوي 0.6 مليون إلكترون فولت كما يلي:

$$E_\gamma = 10Ci \times 3.7 \times 10^{10} Bq \times 0.6Mev = 2.22 \times 10^{11} Mev/\sec.$$

وعليه يكون معدل الطاقة الناتجة نتيجة الأشعة الانكباحية يساوي النسبة المنتجة Y مضروبة في الطاقة الكلية المنتجة من المصدر كما يلي:

$$YE_\gamma = 2.22 \times 10^{11} Mev/\sec \times 7.4 \times 10^{-6} = 1.64 \times 10^{6} Mev/\sec$$

الآن يلزمنا حساب مقدار معدل التعرض الناتج عن هذا المقدار من الطاقة على مسافة 1.5 متر وهذا يتم حسابه من المعادلة التالية على أساس أن هذه الطاقة ستتوزع بشكل كروي (سطح الكرة الذي يساوي $(4\pi r^2)$ مركزه المصدر المشع) في الهواء بدون وجود درع لامتصاص هذه الأشعة الناتجة، لذا فأننا سنحتاج إلى معامل امتصاص الهواء μ_{air} والذي يساوي $3.4 \times 10^{-5} cm^{-1}$ وكثافة الهواء الذي يساوي $0.00129g/cm^3$:

$$\dot{\Gamma} = \frac{1.64 \times 10^{6} MeV/s \times 1.6 \times 10^{-6} erg/MeV \times 3600s/hr \times 3.4 \times 10^{-5} cm^{-1}}{4\pi(150cm)^2 \times 0.00129g/cm^3 \times 87.8erg/(g/R)} = 11.7mR/hr$$

وهذا المقدار من التعرض أكثر من الحد المطلوب الذي يجب أن يكون 1 ملي رنتجن لكل ساعة، وفي هذه الحالة علينا إيجاد السمك الإضافي من مادة الرصاص، وكذلك إيجاد السمك اللازم مثلا لامتصاص الأشعة الانكباحية، واستعمال مادة الرصاص في هذه الحالة لا يزيد من مقدار الأشعة الانكباحية، كونه تم امتصاص وإيقاف جميع جسيمات بيتا داخل الدرع الأولي، وهو درع البلاستيك، ومقدار التعرض هنا ناتج عن الأشعة الانكباحية التي نتجت من الدرع الأولي. ويتم حساب سمك الدرع الثانوي من الرصاص اللازم لامتصاص الأشعة الانكباحية كما يلي إذا علمنا معامل الامتصاص للرصاص μ/ρ عند طاقة $1.71MeV$ يساوي $0.048cm^2/g$ ويضرب في كثافة الرصاص التي تساوي $11.4g/cm^3$ نجد بان μ تساوي $0.55cm^{-1}$:

$$R = R_0 e^{-\mu x}$$

$$1 = 11.7e^{-0.55x}$$

وبإيجاد قيمة x ، نجد إنها تساوي 4.5 سم من مادة الرصاص، تلزم كدرع ثانوي لامتصاص الأشعة الانكباحية.

في حالة أن تكون أشعة جاما مترافقة مع انبعاث جسيمات بيتا، أو جسيمات ألفا فان الدرع يحسب في العادة، حسب قدرته على امتصاص أشعة جاما، كون مدى هذه الأشعة اكبر بكثير من مدى جسيمات بيتا أو ألفا مع الأخذ بعين الاعتبار الأشعة الانكباحية الناتجة عن جسيمات بيتا عند توقفها بالمادة.

الدروع الإشعاعية لأشعة جاما والأشعة السينية:

كما وضحنا سابقا ، بان طبيعة تفاعل الفوتونات الإشعاعية مع المادة تختلف كليا عن تفاعل الجسيمات المشحونة، حيث أنه في الأولى قد يمتص الفوتون كليا أو جزئيا او قد يتشتت جزءً منه، أو قد يمر المادة بدون تفاعل، لذا فان عملية توهين الفوتون الإشعاعي تعتمد في هذه الحالة على الشكل الهندسي للحزمة الإشعاعية من ناحية كونها منتظمة أو غير منتظمة هندسيا كما هو موضح بالشكل(3).

في حالة الحزمة المتنظمة، كل فوتون يتفاعل قد يمتص أو يصل إلى النقطة المستقبلة بطاقته الأصلية، وبالعادة تكون أغلبية المصادر المتنظمة مصادر نقطية، أما في حالة كان المصدر غير منتظم، أو ضعيف الانتظام، فإن الفوتون الذي يتم امتصاص جزء منه وينشتت الجزء الأخر يفقد جزء من طاقته الأصلية، لذا فانه طيف واسع من الطاقات الأصلية للفوتونات تصل إلى الكاشف بالإضافة إلى جزء من الفوتونات التي تشتت بطاقات مختلفة، وهذا يلعب دوراً رئيسياً في عملية حساب وتصميم الدروع الإشعاعية، لذا سيكون حتما اختلاف في طريقة حساب سماك الدرع اللازم لكل نوع من الحزم الإشعاعية.

الدروع الإشعاعية للحزمة المتنظمة:

أن عملية توهين الفوتونات الإشعاعية لحزمة إشعاعية منتظمة بشكل مثالي عند مرورها في مادة الدرع تكون حسب العلاقة الرياضية التالية:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث I_0 الشدة الأصلية للحزمة الإشعاعية، و I شدة الحزمة الإشعاعية بعد التوهين عند مرورها من خلال الدرع، و x سماك الدرع، و $\mu(cm^{-1})$ معامل التوهين ويعتمد على العدد الذري لمادة الدرع وعلى طاقة الفوتون والذين يحددان طبيعة تفاعل الفوتون في المادة (التفاعل الضوئي، تشتت كمبتون و الإنتاج الثنائي)، وهذا المعامل يمكن حسابه من خلال القياسات ولعدة مواد وعلى طاقات مختلفة وتورد المثال التالي لطريقة الحساب.

مثال:

حزمة إشعاعية منتظمة تبلغ شدتها 10000 عدة، وضع أمامها شريحة من النحاس سمكها 1.31 سم، وتم قياس شدة الحزمة الإشعاعية بعد الشريحة وكانت نصف القيمة الأصلية (5000) عدة، احسب معامل التوهين لشريحة النحاس ؟

الحل:

$$\ln(0.5) = -\mu \times 1.31cm$$

$$\mu = \frac{0.693}{1.31cm} = 0.5278cm^{-1}$$

من المثال أعلاه وكما شرحنا سابقا عن عمر النصف الإشعاعي، فانه من المفيد أيضا استعمال تعبير مصطلح سماك النصف، $Half-Value-Layer(HVL)$ والذي يعرف بأنه السماك اللازم من المادة لتوهين الإشعاع إلى نصف قيمته الأصلية وهو في هذه الحالة يساوي:

$$\frac{I(x)}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x} \Rightarrow x_{1/2} = \text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

وبالإضافة إلى سماك النصف نأتة يستعمل أيضا السماك العشري $Tenth-Value-Layer(TVL)$ والذي يعرف بأنة السماك اللازم لتوهين الأشعة إلى عشر قيمتها الأصلية

$$\text{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu} = \frac{2.3026}{\mu}$$

درع أنبوب الأشعة بالعادة يكون ضمن مواصفات تصنيعية معينة لتمنع التسرب أو تقلله أثناء التشغيل للحدود المسموح بها حسب المواصفات والتوصيات الدولية بهذا الخصوص والتي تكون بحدود 0.1 رنتجن/ساعة على بعد متر واحد من الأنبوب في حالة كانت الطاقة القصوى للأنبوب تقل عن 500 كيلو إلكترون فولت و بمقدار 1 رنتجن/ساعة على بعد متر واحد للأجهزة ذات الطاقة القصوى التي تزيد عن 500كيلو إلكترون فولت مثل أجهزة الأشعة العلاجية. وهذه القيمة قد تزيد عن هذه الحدود عندما يستعمل الأنبوب لغايات غير طبية مثل التصوير الصناعي. وفي العادة يصمم درع أنبوب الأشعة على أساس حساب الدروع للمصادر المشعة على اقصى جهد تشغيلي لأنبوب الأشعة.

يتكون حقل الأشعة في غرفة جهاز الأشعة من عدة عناصر فهناك الإشعاع الرئيسي والأشعة المتشتتة والأشعة المتسربة واتجاه الشعاع الفعال كما هو موضح بالشكل (4). هذه العناصر مهمة عند عملية حساب وتصميم الدرع الإشعاعي لمنشأة تحوي على جهاز أشعة.فالدرع الرئيسي يجب أن يكون في اتجاه الشعاع الفعال، كما أن هناك احتمالية أن يكون الشعاع الفعال قابل للتوجيه لعدة اتجاهات، وفي هذه الحالة تكون كل الجدران المقابلة لهذا الشعاع هي دروع رئيسية، وبما أن هناك أشعة متسربة من أنبوب الأشعة وأشعة متشتتة من جسم المريض ومن جدران و أرضية وسقف غرفة الأشعة، يجب عمل دروع ثانوية، وهذه الدروع لا تكون لغايات توهين الشعاع الفعال وإنما لغايات توهين الأشعة المتسربة والأشعة المتشتتة بكافة الاتجاهات أي أن كل درع غير الدرع الرئيسي هو درع ثانوي.

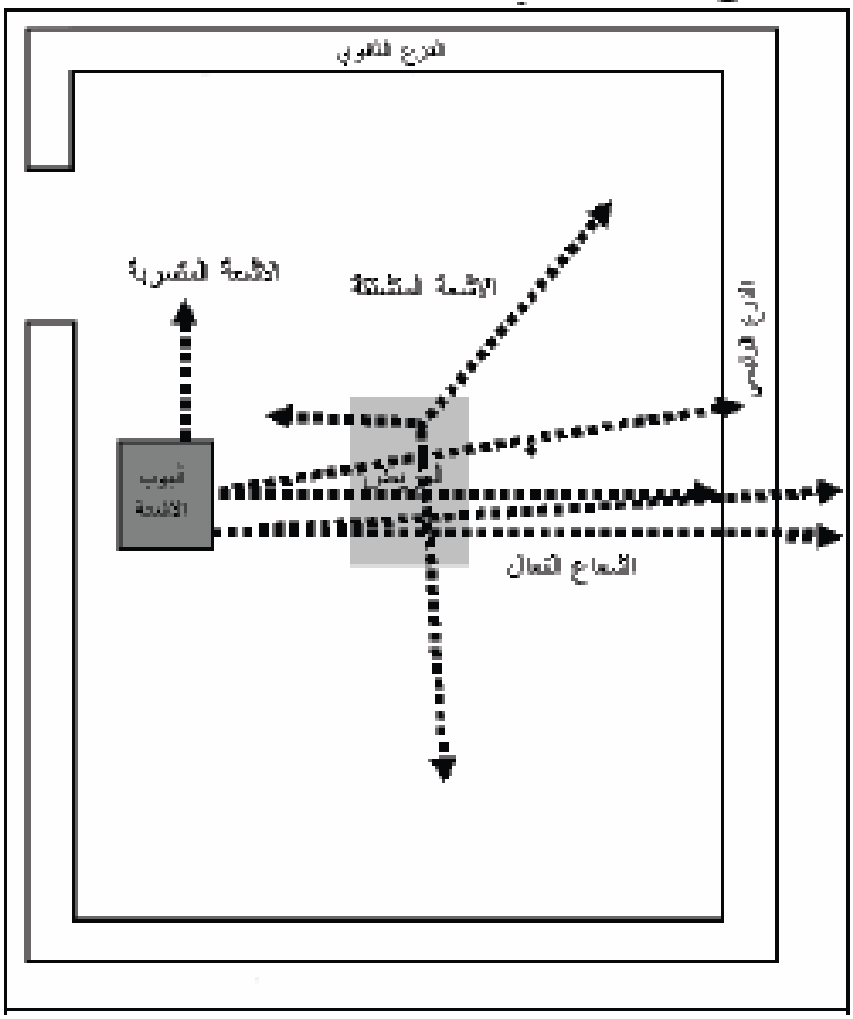
عند تصميم الدروع الإشعاعية لغرف الأشعة يأخذ بالاعتبار أن لا تتجاوز الجرعة المسموح بها في المناطق المسيطر عليها (الخاضعة للرقابة المباشرة للعاملين) عن (1 ملي سيفرت/أسبوع) على أساس خمس أيام بالأسبوع 8 ساعات عمل في اليوم، والمناطق غير الخاضعة للرقابة المباشرة للعاملين أو مسئولي الوقاية الإشعاعية، فيجب أن لا تزيد عن (0.1 ملي سيفرت/ أسبوع) على أساس اعتماد الحدود القديمة الصادرة عن اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية الواردة بمنشورها رقم 26، أما الآن فقد اعتمدت اللجنة حدود جديدة في تقريرها الرقم 60 ، واعتمدت الوكالة الدولية للطاقة الذرية هذه الحدود بمنشورها رقم 115 – سلسلة السلامة و الأمان الإشعاعي وتبنتها العديد من الدول. وبناء على الحدود الجديدة فان الحد المسموح به في المناطق المراقبة (0.4 ملي سيفرت/أسبوع) والمناطق غير المراقبة (0.02 ملي سيفرت/ أسبوع). ولغايات الحسابات وتصميم الدرع الإشعاعية لأجهزة الأشعة السينية تسمى هذه الحدود بالحد المسموح به أسبوعياً، فيستطيع المهتم تطبيق الحدود المتبعة تشريعاً في بلده مع مراعاة العمل على تخفيض الجرعة الى اقل من هذه الحدود استناداً لتطبيق مبدأ ALARA المعتمد في الوقاية الإشعاعية.

حسابات الدروع الإشعاعية الرئيسية:

عملية توهين الأشعة باستخدام مواد مختلفة وطاقات متنوعة تم قياسها تجريبياً، وتم تمثيل هذه النتائج في منحنيات بيانية، فقد وجد تجريبيا بأن الأشعة التي تعبر الدرع الإشعاعي تعتمد على جهد القمة لأنبوب الأشعة وتتناسب مع الزمن والتيار المار في فتيل التسخين في الأنبوب معاً، وليس على التيار فقط بالإضافة الى المسافة ونوع

مادة الدرع، ومن هنا تم وضع هذه المنحنيات في مجموعات تمثل المواد والقيم المختلف بجهد القمة للأنبوب، ليتم من خلال هذه المنحنيات إيجاد سمك الدرع المناسب لكل حالة.

هناك عدة عوامل رئيسية تدخل في عملية حساب سمك الدرع الرئيسي المراد تصميمه لإيجاد قيمة معامل مرور الأشعة عبر الدرع ***K – Transmitted Factor*** بوحدة الرنتجن لكل ملي أمبير . دقيقة، على بعد متر واحد، ليتم من خلال قيمة هذا العامل والمنحنيات التجريبية الشكل (5–8) إيجاد السمك المطلوب الذي يضمن الالتزام في الحدود المسموح بها وهذه العوامل هي:



الشكل (4): غرفة الأشعة وعناصر حقل الأشعة داخل الغرفة والدروع الرئيسية والدروع الثانوية.

1– مقدار التعرض المسموح به أسبوعياً (permissible weekly exposure) ويرمز له بالرمز ***P*** وكما تم ذكره أعلاه.

2– حجم العمل الأسبوعي ***(weekly workload)*** مقاس بوحدة الملي أمبير . دقيقة/ أسبوع ويرمز له بالرمز ***W*** ويحسب هذا على أساس حجم العمل الأقصى، ويمكن حسابه على سبيل المثال من عدد الصور الإشعاعية الكلية الممكنة في الأسبوع مضروبة في قيمة التيار والزمن لكل صورة.

التأثيرات البيولوجية للإشعاع

لقد عرف الإنسان التأثير الضار للإشعاع منذ بداية اكتشافه وقبل أن يتعرف على طرق الوقاية منة ، وم ن هذه التأثيرات ملاحظة سقوط الشعر واحمرار الجلد نتيجة التعرض للأشعة السينية وإصابة مكتشف ه ذه الأش عة بسرطان الجلد ، بالإضافة الى ارتفاع نسبة الإصابة بسرطان الرئة لدى عمال مناجم اليورانيوم نتيجة استنش اقهم لغاز الرادون وغيرها من الحالات التي تم رصدها لدى العاملين في مجال الإشعاع ونتيجة للح وادث وال تفجيرات النووية والأضرار التي نتجت عنها.

يعتمد التأثير البيولوجي للإشعاع على عدة عوامل منها نوع الإشعاع وطريقة التعرض له سواء كان خارجي أو داخلي ، وحساسية العضو المتعرض للإشعاع وقابليته لتخزين المواد المشعة في حالة التعرض الداخلي. ويك ون تأثير الإشعاع على خلايا الجسم بطريقتين ، طريقة مباشرة وطريقة غير مباشرة ، ففي الطريقة المباشرة يتم تكس ير الروابط بين الذرات المكونة لجزيئات المادة الحية نتيجة التأين وبالأخص نواة الخلية مسببا موتها أو تغير جيني بها أما التأثير غير المباشرة فينتج عن تحلل الماء الذي يشكل ما نسبته 70–85 % من الجسم الحي وهذا بدورة ينتج مواد كيمائية سامة تؤثر على الخلية وعلى الخلايا المجاورة.

التأثير المباشر للإشعاع:

التأثير المباشر للإشعاع يحدث نتيجة تأين أو إثارة ذرات المادة المكونة للخلية الحية والذي يمكن أن يحدث في مكان ما من الجسم المتعرض للإشعاع ، ويكون الجزء المتضرر من الإشعاع هو نواة الخلية او المادة الوراثي ة فيه ا نتيجة تكسير الروابط بين جزيئات المادة ، مؤديا لموت الخلية أو التغير في الشفرة الوراثية ، مما ينتج عنة تشكل طفرة قد تكون سرطانية في الخلية ، أو حدوث تشوهات في الخلية أو فقدان المادة الوراثية قدرتها على نق ل المعلوم ات الوراثية للخلايا الجديدة. فعند حدوث هذه الطفرات فمن الممكن أن تكون في الخلايا الجينيه مسببة في انتقال هذه الطفرة الى الجيل القادم أو في الخلايا الجسدية مسببة انتقال هذه الطفرة الى الخلية المتولدة. ومن هن ا ف ان الت أثير البيولوجي المباشر للإشعاع يتمثل بالأغلب في تكون هذه الطفرات وانتقالها أو تطورها الى طفرات أخرى. وه ذه التأثيرات تشمل الجرعات الصغيرة التي يتعرض لها الإنسان بشكل مستمر ، حيث يكون من الممكن أن تحدث هذا التأثير وبالتالي وجود تأثير تراكمي للإشعاع وبشكل احتمالي في الجرعات الإشعاعية لغاية 250 ملي جري. وبعد هذه الجرعة يبدأ هذا التأثير بالزيادة متناسبا مع مقدار الجرعة ، ولهذا فانه لا توجد قيم تجريبه يمكن أن يعول عليه ا في نطاق الجرعة من 0–250 ملي جري[16] ، ولكن هناك العديد من الدراسات التي أكدت حدوث هذه التغيرات عند الجرعات العالية للإشعاع نتيجة احتمالية التأثير الثنائي للإشعاع الذي يحدث عندما يك ون مق دار وطاق ة الإشعاع كافيين لأحداث كسر ثنائي في الرابطة الجزئية التي تربط ماده الحمض النووي الحامل للشفرة الوراثية (أي في موقعين مختلفين في السلسة الوراثية) وهو م ا يع رف ب (Theory of Dual Radiation Action) ب ين الذرات المكونة للمادة الوراثية (DNA) مما يفقد الخلية قدرتها على إعادة إصلاح نفسها وعملية الإصلاح تك ون

أسهل عندما يكون الكسر في الرابطة من موقع واحد ، وبالتالي فان عدد الخلايا المتضررة في هذه الحالة يتناسب مع مربع الجرعة. وعندما يكون مقدار الإشعاع وتأثيره الخطي كبير بحسب معامل النوعية للإشعاع تكون الاحتمالية لحدوث هذا التأثير المزدوج في موقعين متقاربين في السلسة الوراثية اكبر مسببا بذلك تدمير لنواة الخلية نتيجة فقدان الخلية قدرتها على إعادة إصلاح نفسها ، وفي المقابل فان احتمالية أن تقوم الخلية بإصلاح نفسها ستكون اكبر عندما يكون الكسر في الرابطة أحادي ، ويتم في العادة تقدير مقدار هذا الضرر الناتج عن أي نوع من الإشعاع نسبة الى مقدار ونوع معياري من الأشعة وبالغالب تكون أشعة اكس أو أشعة جاما.

التأثير غير المباشر:

من المعلوم بان معظم الجسم الحي مكون من الماء ، وبالتالي فان معظم التأثيرات المباشرة للإشعاع ستحدث في جزيئات الماء مسببة تفككها منتجة بذلك جذور حرة لها القابلية العالية على التفاعل مكونة بذلك مركبات سامة تؤثر على الخلايا من خلال هذه السمية ، فعند تعرض الماء الى الإشعاع فان جزئي الماء سيتحلل حسب المعادلة التالية:

$$H_2O \rightarrow H_2O^+ + e^-$$

ومن ثم فان الأيون الموجب للماء سيتحلل فوراً كما يلي:

$$H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH$$

وبالمقابل فان الإلكترون الحر سيتم أخذه من قبل جزئي ماء غير متحلل لينحل مباشرة ، حسب المعادلات التالية:

$$H_2O + e^- \rightarrow H_2O^-$$

$$H_2O^- \rightarrow H + OH^-$$

والزمن اللازم لحدوث هذه التفاعلات يبدأ بالمرحلة الفيزيائية وهي مرحلة التأين والإثارة، وزمن هذه المرحلة يبلغ 10^{-14} ثانية ومن ثم المرحلة قبل الكيميائية والتي يبلغ زمنها 10^{-11} ثانية ، يتم خلالها التحلل ، ومن ثم تأتي المرحلة الكيميائية التي يتم فيها تفاعل الجذور الحرة مع بعضها أو مع جزيئات أخرى في حال انتشارها في زمن يتراوح ما بين $10^{-11} - 10^{-6}$ ثانية حسب المعادلات التالية:

$$OH + OH \rightarrow H_2O_2$$

$$H + O_2 \rightarrow H_2O$$

أما بالنسبة للإلكترونات التي تكون في حاله اقل بقليل من حالة التهيج $sub-excitation$ والتي تكون قد تشكلت خلال المرحلة الفيزيائية تواصل عملية نقل الطاقة الى الماء المحيط بحركة دورانيه ، لتصبح حرارية بعد فقدها للطاقة وتعمل على تشكل مجموعة من جزيئات الماء حولها ، حيث يتجمع حول كل الإلكترون من ست الى ثماني جزيئات من الماء بحيث يكون اتجاه ذرات الأوكسجين للخارج بسب أن جزئي الماء بالأصل يملك مقدار زائد من الشحنة الموجبة عن ذرتي الهيدروجين ، وزيادة قليلة في الشحنة السالبة عند ذرة الأوكسجين (قطبية جزئي الماء) وبالتالي فان الإلكترون يشكل جذر حر نقي غير مرتبط ويدعي بالإلكترون المائي كما هو مبين في المعادلة التالية (141).

$$e^-_{sub} \rightarrow nH_2O \rightarrow e^-_{aq}$$

وفي حالة وجود إشعاع ذو قدرة تأين عالية مثل جسيمات ألفا فان معظم الجذور الحرة من OH ستتكون بالقرب من بعضها مما يزيد من قابلية تفاعلها مع بعضها قبل تفاعلها مع H مكونة بذلك مركب بيرو كسيد الهيدروجين

H_2O_2 الذي يكون مستقرا مع زمن كافي لانتشاره بعيدا عن منطقة التفاعل عالية التركيز الى المناطق الأقل تركيزاً ، وهذا المركب ذو قدرة عالية على التأكسد الذي يؤثر بطريقة غير مباشرة على الخلايا أما في حالة وجود O_2 فأنة سيتفاعل مع الجذر الحر H مكون بيرو كسيد الماء الحر مما يزيد من سمية الإشعاع.

أن عملية انتشار هذه الجذور الحرة والمركبات تتم في كافة الاتجاهات وبشكل عشوائي لمسافة مقدارها x مقترنة خلال الزمن t وبالتالي فان مقدار ثابت الانتشار D يساوي:

$$D = \frac{x^2}{6t}$$

فعلى سبيل المثال فأنة بعد زمن يساوي 10^{-12} ثانية فان المسافة التي تقطعها هذه الجذور الحرة تبلغ حوالي 1.1 انجستروم وبالمقابل فان قطر جزئي الماء يساوي 2.9 انجستروم ، ومن هنا نرى بان هذا يثبت بان الزمن 10^{-11} هو الزمن المناسب لبدء المرحلة الكيميائية و اقل من هذا الزمن ستبقى هذه الجذور الحرة في نطاق جزئي الماء ، وإذا بقي في مجال الجزئي ، فان احتمالية العودة الى وضعة السابق كبيرة ولكن بعد ابتعاده عن مجال الجزئ ، تكون احتمالية حدوث إحدى تفاعلات المرحلة الكيمائية اكبر. وبذلك فان مسار الجسيمات المشحونة في الماء الذي يمثل النسيج الحي يكون فقدان طاقة الجسيم فيه على طول هذا المسار نتيجة عمليات التأين و إنتاج الإلكترونات الثانوية. وهذه الإلكترونات بدورها ستقوم بتأين ذرات أخري وإنتاج الإلكترونات ثانوية جديدة و هلما جرا ، ولغاية الفقدان الكامل للطاقة التي يحملها الجسيم الرئيس والطاقة التي اكتسبتها النواتج الثانوية والتي ستؤدي الى إنتاج مجموعات من الجذور الحرة بعد زمن معين يلي الزمن اللازم للتفاعل الأصلي وبشكل منتشر عشوائي على طول المسار.

التأثيرات البيولوجية للإشعاع:

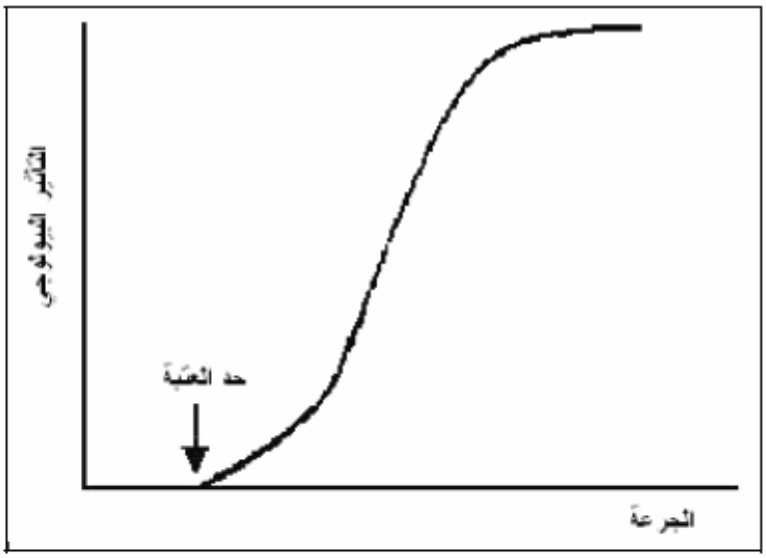
أن التأثيرات البيولوجية للإشعاع تنتج عن التأثير المباشر والتأثير غير المباشر للإشعاع معتمدا على مقدار الجرعة وعلى نوع الإشعاع. ويمكن لهذه الآثار البيولوجية أن تختلف عن بعضها البعض، فمنها ما يظهر مباشرة وبسرعة ويدعى في هذه الحالة التأثير الحتمي للإشعاع Deterministic – Effects ويكون له حد عتبة معين والبعض الأخر قد يظهر بعد سنوات طويلة من التعرض للإشعاع وبشكل احتمالي أو غير عتبي ***stochastic***.

ومن هنا فأنة يمكن اعتبار نوعين رئيسيين من التعرض الإشعاعي ، الأول التعرض لجرعة عالية من الإشعاع في زمن قصير بشكل عرضي ويدعي هذا النوع بالتعرض الحاد وهذا النوع من التعرض تظهر فيه التأثيرات البيولوجية مباشرة أو خلال فترة قصيرة من الزمن بعد التعرض وبعد التعرض لمقدار معين من الإشعاع كما هو موضح بالشكل (1). والنوع الأخر من التعرض هو التعرض لجرعة قليلة من الإشعاع وعلى مدى طويل وهذا يدعي بالتعرض المستمر أو التعرض المزمن وفي هذه الحالة قد لا تظهر فيه التأثيرات البيولوجية مباشرة وقد تستغرق سنوات عدة بعد التعرض أو تظهر في الأجيال التالية وقد يكون ظهوره بشكل احتمالي وتزداد احتمالية الظهور مع الجرعة كما هو موضح بالشكل (2).

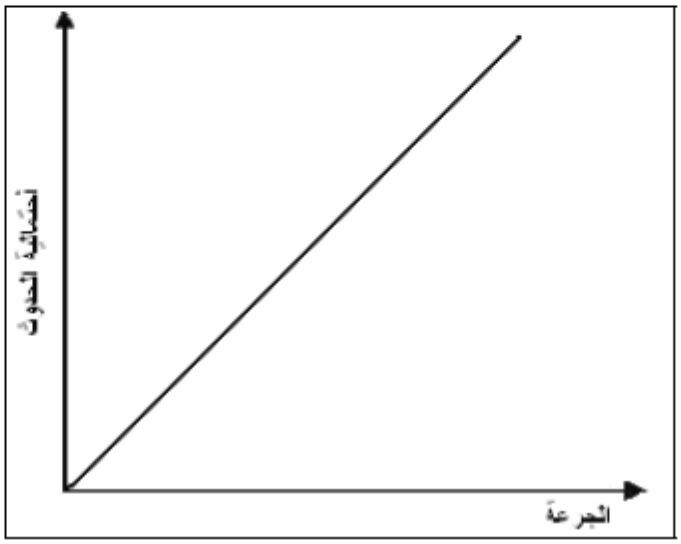
التأثيرات الحادة والحتمية:

عند تعرض الإنسان لجرعة عالية من الإشعاع فأنها ستؤثر على كافة أعضاء الجسم وحيث أن حساسية هذه الأعضاء تختلف من نوع الى أخر ، في حالات التعرض الإشعاعي ، هناك أعضاء في الجسم أكثر تأثراً بالإشعاع من أعضاء وأنسجة أخرى ، وبالتالي فان ظهور الأعراض المصاحبة للتعرض الإشعاعي الحاد ستظهر على الأعضاء

الحساسة بالاعتماد على مقدار الجرعة الإشعاعية. فإذا كانت الجرعة الإشعاعية فوق حد العتبة لهذه الأنسجة فـ ـان الأعراض ستظهر مباشرة أو بشكل متأخر ولكنه شبة حتمي ، وبعكس ذلك فان الأعراض أما أن تظهر لاحقا أو لا تظهر وتكون بشكل احتمالي. لذا وبناء على حساسية الأنسجة والأعضاء للإشعاع تم تقسيم الأعراض الى ثـ ـلاث فئات أولها أعراض الجهاز الدموي والثانية أعراض الجهاز الهضمي والأخيرة هي أعراض الجهاز العصبي المركزي مع وجود أعراض مشتركة تجمع بين هذه الفئات الثلاث مثل الغثيان والتقيوء والإعياء وارتفاع درجة حرارة الجسـ ـم والتغيرات في الدم ، بالإضافة الى بعض أعراض اعتلال الجسم وبعض التغيرات على الجلد مثل الاحمرار والحروق في حالات التعرض الشديد والموضعي.



الشكل (1) منحنى التأثيرات البيولوجية الحتمية بعد حد العتبة



الشكل (2) احتمالية حدوث التأثيرات البيولوجية

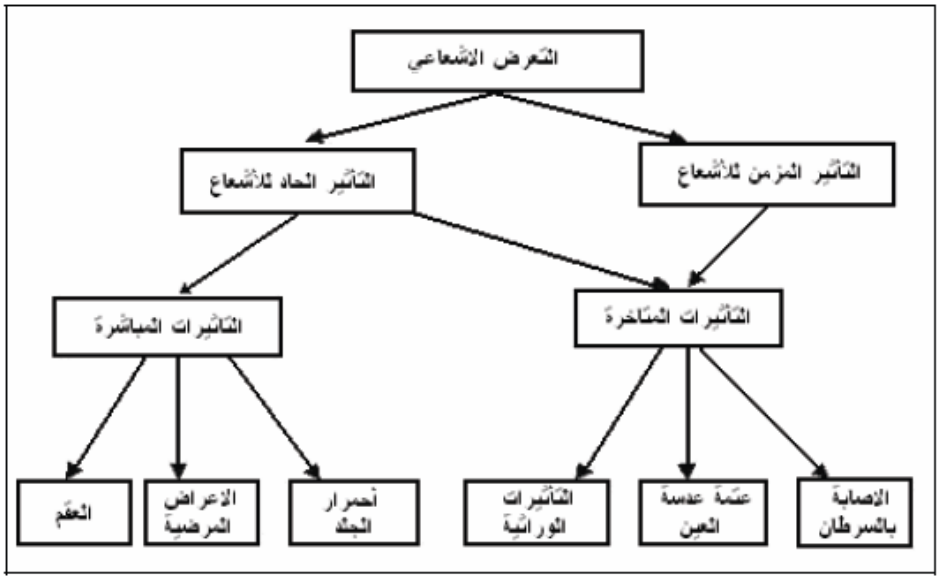
يعتبر التغير في عدد كريات الدم الحمراء والبيضاء من أهم الأعراض للتعرض الإشعاعي حيث أن خلايا الدم من أكثر الخلايا حساسية للإشعاع ، وبالتالي تكون بمثابة كاشف بيولوجي للتعرض الإشعاعي في حالات التعرض الحاد للإشعاع حيث انه من المحتمل ملاحظة هذه التغيرات بعد التعرض لجرعات تزيد عن 140 ملي جري والممكن أيضا أن لا تظهر هذه التغيرات لغايات 250-500 ملي جري وبعد هذه الجرعة فانه من شبة المؤكد ظهور هذه التغيرات حيث أنة من المعرف أن ما نسبته 55% من الدم هي سوائل تدعي ببلازما الدم والبقية من المواد المكونة للدم والتي تشمل كريات الدم الحمراء والبيضاء والصفائح الدموية ، وان متوسط عدد كريات الدم

البيضاء يبلغ حوالي 7000 لكل ملم مكعب في الشخص الطبيعي وهي تمثل خط الدفاع الرئيسي في الجسم وهذه مكونة من نوعين رئيسيين من الخلايا هي ***Granulocytes*** و ***Lymphocytes*** وتبلغ نسبة الأولى حوالي 70-75% وتنتج في خلايا نخاع العظم وتعمر ثلاث أيام والثانية تبلغ نسبتها من 25-30 % وتنتج في العقد الليمفاوية وتعمر لمدة يوم واحد وبعد التعرض الإشعاعي الحاد يكون هناك زيادة حادة في عدد ***Granulocytes*** يتلوها تناقص بعد يوم واحد لغاية بلوغ الحد الأدنى لتعود بعدها الى نسبتها الطبيعية بعد عدة أسابيع الى عدة اشهر بينما تتناقص نسبة ***Lymphocytes*** بحدة بعد التعرض وتبقى كذلك لعدة اشهر. وهذه التغيرات تعتبر من أحد المؤشرات على التعرض الإشعاعي الحاد وبالمقابل فان كريات الدم الحمراء لا تبدى هذا الأمر لغاية أسبوع بعد التعرض ثم تنخفض وتستمر بالانخفاض لغاية الوصول الى حدها الأدنى خلال شهر الى شهرين لتبدأ بالتعافي البطيء وقد يستغرق هذا التعافي عدة اشهر.

أما في حالة التعرض لجرعات إشعاعية اكبر من 2 جري ، يحدث تدمير لخلايا نخاع العظم المنتجة لكريات الدم وهذا يؤدي فورا لتعرض الجسم لهجوم الأمراض نتيجة فقدان الجهاز الدفاعي في الجسم لوظائفه، وهذا قد يلاحظ بعد عدة ساعات من التعرض ويكون على شكل غثيان وتقيؤ وعدم اتزان يتبعه بعد أسبوعين الى ثلاثة أسابيع من التعرض تساقط الشعر. وفي حال عدم المتابعة والمعالجة قد تحدث الوفاة خلال شهر الى شهرين بعد التعرض. أما التعرض لجرعات اكبر من 4-6 جري ، فان تلف نخاع العظم بالكامل مؤكد. وبالعموم فان هناك إمكانية لزراعة نخاع عظم جديد من متبرع متطابق نسيجيا مع المريض وفي حال نجاح عملية الزراعة فان النخاع يبدأ بالنمو مع المحافظة على عدم تعرض المريض الى الجراثيم والأمراض عن طريق عزلة في مكان معقم ونظيف. هذا العلاج متبع بالعادة في معالجة الأمراض المستعصية مثل سرطان الدم بعد عملية تشعيع كامل الجسم ***Total Body Irradiation (TBI)*** ، وتقنية تشعيع كامل الجسم تتم عن طريق تعريض المريض الى جرعة إشعاعية قد تصل الى 15 جري تعطي بشكل متقطع وعلى عدة جلسات حيث يتم تعريض المريض الى جرعة إشعاعية مقدارها 2 جري أو أقل في كل جلسة ليتم القضاء وتدمير خلايا نخاع العظم بالكامل ومن ثم يتم ذلك زراعة نخاع عظم سليم للمريض (9).

أما بالنسبة الى الفئة الثانية وهي أعراض الجهاز الهضمي فأنها تظهر بعد التعرض لجرعة إشعاعية م ن أش عة جاما أو أشعة اكس مقدارها 10 جري أو أكثر ، تؤدي الى تقشر وتلف النسيج المبطن للجهاز الهضمي بالإض افة الى ظهور أعراض الجهاز الدموي التي ذكرت سابقا يحدث تقيؤ مستمر مع إسهال يظهر مباشرة بعد التعرض ويمكن أن تحدث الوفاة خلال أسبوع الى أسبوعين بشكل مرجح. وفي حال التعرض لجرعة إشعاعية تصل الى 20 جري أو أكثر تبدأ أعراض المرحلة الثالثة بالظهور وهي أعراض الجهاز العصبي المركزي ، حيث تبدأ خلايا الجهاز العص بي والتي تعتبر بالعادة من الخلايا الأكثر مقاومة لتأثير الإشعاع بالتلف ، هذا بالإضافة الى تلف بقية الخلايا والأنس جة التي تكون اقل مقاومة لتأثير الإشعاع مما يؤدي الى تعرض المصاب الى إغماء بعد عدة دقائق من التعرض وم ن ثم الوفاة خلال ساعات قليلة من التعرض.

بالإضافة الى ما تم ذكره توجد بعض التأثيرات الحادة الأخرى التي قد تحدث لأعضاء وأنسجة الجسم المختلفة بحكم موقعها بالجسم أو بحكم مقدار حساسيتها للإشعاع. ويعتبر الجلد احد هذه الأنسجة التي تت أثر بالإش عاع وبالأخص في حالة التعرض للأشعة السينية منخفضة الطاقة والجسيمات بيتا حيث أن تعرض الجلد للأشعة الس ينية بمقدار 300 رنتجن يسبب احمرار الجلد وزيادة الجرعة قد يسبب حروق وتغير في لون الجل د وتس اقط الش عر وارتفاع حرارة الجلد والموت الموضعي للجلد. وكذلك فان الغدد من الأعضاء الحساسة جدا للإشعاع ومنها الغدد التناسلية حيث أن جرعة مقدارها 300 ملي جري للغدد التناسلية في الرجل يمكن أن تسبب عقم مؤقت وفي حالة زيادة الجرعة فانه من الممكن حدوث عقم دائم ، وكذلك فان الغدد التناسلية بالمرأة أيضا تتأثر بالتعرض الإشعاعي الذي يمكن أن يسبب لها تأخر في دورة الطمث الشهرية أو حتى العقم المؤقت. وبالإضافة الى الغدد فان العين تعتبر من الأعضاء الحساسة للإشعاع ، فالتعرض الإشعاعي الزائد للعين قد يسبب تكون المياه البيضاء والتهاب ملتحم ة العين وبشكل عام يمكن تلخيص التأثير البيولوجي للإشعاع كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (3) ملخص التأثيرات البيولوجية للإشعاع

التأثيرات المتأخرة للإشعاع:

التأثيرات المتأخرة للإشعاع قد تحدث نتيجة جرعات كبيرة في زمن قصير أو نتيجة تعرض منخفض للإشعاع لمدة طويلة، وهذا الأمر قد يحدث نتيجة تعرض خارجي للإشعاع فوق الحدود المسموح بها ، أو في ظروف وقاية إشعاعية سيئة بالإضافة الى التعرض الداخلي نتيجة تناول أو استنشاق نظائر مشعة قد تستقر في الجسم لفترات زمنية طويلة.

من أهم التأثيرات المتأخرة نتيجة التعرض للإشعاع هو احتمالية الإصابة بالسرطان في كل من الدم والجلد والعظام والرئتين والغدة الدرقية. وظهور هذا المرض قد يستغرق سنوات أو أكثر ، حيث تعتبر الإصابة بسرطان الدم من الأهمية حيث انه نادر الحدوث في الحالات الطبيعية. سرطان الدم وسرطان العظم الذي يحدث نتيجة التعرض لعنصر الراديوم يمكن أن يحدث خلال سنتين الى أربعة سنوات بعد التعرض وخطر الإصابة بعد التعرض بالسرطان لا يمكن تجاهلها حتى لغاية 25-30 سنة. ومن التأثيرات المتأخرة أيضا ، هو الحد من قدرة الأنسجة على التجدد وبالتالي إضعاف قدرة الأنسجة على تجديد نفسها ، وهذا يعتبر مرض في الأنسجة بحد ذاته يمكن أن يصيب كل من العظم والجلد والرئتين والكلى والقناة الهضمية.

قصر الحياة (الأعمار بيد الله سبحانه وتعالى) يعتبر أيضا من التأثيرات المتأخرة للإشعاع فقد تبين في العديد من الدراسات والأبحاث بان الأشخاص الذين يتعرضون للإشعاع تكون أعمارهم اقل من الذين لم يتعرضوا للإشعاع وذلك بسب فقدان بعض الأنسجة قدراتها على التجدد وكذلك تعتبر التغيرات الجينية والطفرات الجينية

تنتقل الطاقة من الإشعاعات المؤينة إلى جسم الكائن الحي وتؤدي إلى تأيين ذرات الخلايا. فالجسيمات المشحونة الثقيلة وجسيمات بيتا تؤين ذرات الخلايا مباشرة عند المرور فيها. وتنتقل طاقة إشعاعات جاما أو الأشعة السينية إلى الإلكترونات الموجودة في ذرات الخلية، وتقوم هذه الإلكترونات بالتأيين. أما طاقة النيوترونات فتنتقل إلى بروتونات ذرات الهيدروجين عن طريق التصادم المرن، ثم تقوم هذه البروتونات بتأيين ذرات الخلايا. كذلك، يمكن أن تمتص النيوترونات (خاصة الحرارية) فيؤدي ذلك إلى تكوين نظائر مشعة داخل الجسم، وتؤدي الإشعاعات المنطلقة من هذه النظائر إلى تأيين ذرات الخلايا.

وسواء كانت الإشعاعات المؤينة صادرة عن مصدر موجود خارج الجسم أو عن تلوث الجسم من الداخل بالمواد المشعة، فإن ذلك يؤدي إلى تأثيرات بيولوجية في الجسم، يمكن أن تظهر فيما بعد في شكل أعراض إكلينيكية Clinical Symptoms . وتعتمد خطورة هذه الأعراض والفترة الزمنية اللازمة لظهورها على كمية الإشعاعات الممتصة وعلى معدل امتصاصها .

وتنقسم التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة في الكائنات الحية إلى نوعين هما:

أ - التأثيرات الذاتية: هي التأثيرات التي تظهر أعراضها في نفس الكائن الذي تعرض للإشعاعات المؤينة.

ب – التأثيرات الوراثية: هي التأثيرات التي تظهر أعراضها في ذرية الكائن المتعرض للإشعاعات المؤينة نتيجة تلف أعضائه التناسلية.

6- 2 تفاعل الإشعاعات مع الخلية الحية

عند سقوط الإشعاعات على الخلية الحية تتأين بعض مكونات الخلية، خاصة جزيئات الماء، الذي يمثل الجزء الأكبر من أي خلية. ويؤدي تأين جزيئات الماء إلى حدوث تغييرات كيميائية تؤدي بدورها إلى إحداث تغيير في تركيب ووظيفة الخلية أي إلى إتلافها. ويتم ذلك من خلال عدة مراحل هي:

أ – المرحلة الفيزيائية The physical stage

وتتم خلال زمن قصير للغاية (حوالي 10^{-16} ثانية) من لحظة دخول الإشعاع للخلية. وخلال هذه المرحلة تنتقل الطاقة من الإشعاع إلى جزيء الماء، ويحدث التأيين، أي:

$$H_2O + \text{إشعاع} \rightarrow (H_2O)^+ + e^-$$

ب – المرحلة الفيزيوكيميائية The physico – chemical stage

وتتم هذه المرحلة خلال زمن قصير (حوالي ميكروثانية) بعد حدوث التأين. وخلال هذا الزمن تتفاعل الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة، التي تكونت نتيجة التأين مع جزيئات الماء الأخرى فينتج عن هذه التفاعلات عدة مركبات جديدة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يتحلل أيون الماء الموجب إلى أيون هيدروجين موجب وهيدروكسيد كالآتي:

$$(H_2O)^+ \rightarrow OH + H^+$$

أما الإلكترون فيمكن أن يتحد مع جزيء ماء مكوناً بذلك أيون ماء سالب، أي:

$$H_2O + e^- \rightarrow (H_2O)^-$$

ثم يتحلل هذا الأيون السالب مكوناً هيدروجين وأيون هيدروكسيد سالب، أي :

$$(H_2O)^- \rightarrow (OH)^+ + H$$

كذلك، يمكن أن يتحد الهيدروكسيد مع بعضه مكوناً فوق أكسيد الهيدروجين (ماء الأكسجين)، أي:

$$OH + OH \rightarrow H_2O_2$$

ج – المراحل الكيميائية The chemical stage

يتميز كل من الهيدروجين **H** والهيدروكسيد **OH** بنشاطهما الكيميائي الشديد. كذلك، يعتبر فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 عاملاً مؤكسداً قوياً. وعند تكوّن هذه المركبات في الخلية تتفاعل مع المركبات العضوية الأخرى في الخلية مثل الكروموسومات، فتؤدي إلى تكسير تراكيبها السلسلية الطويلة. وتستغرق هذه المرحلة عدة ثوان.

د – المرحلة البيولوجية The biological stage

ويتراوح زمن هذه المرحلة بين عدة دقائق وعدة عشرات من السنوات وتبدأ في هذه المرحلة ظهور تأثيرات التغييرات الكيميائية التي حدثت في الخلية وبعض هذه التأثيرات هي:

1- موت الخلية الحية.
2- منع أو تأخر انقسام الخلية أو زيادة معدل نموها وانقسامها.
3- حدوث تغييرات مستديمة في الخلية تنتقل وراثياً عند انقسام الخلية.

3-6 التأثيرات الذاتية للإشعاعات The somatic effects of radiation

هـي تلـك التـأثيرات التـي تحـدث فـي نفـس الكـائن الـذي تعـرض للإشعاعات وتنقسم إلى نوعين:

أ – التـأثيرات المبكـرة: هـي التـأثيرات التـي تحـدث خـلال فتـرة تتراوح بين عدة ساعات وعدة أسابيع من وقت التعرض لجرعة كبيرة من الإشعاعات المؤينـة. وتحدث هذه التأثيرات نتيجة موت عدد كبير من خلايا الجسم أو نتيجة منع أو تأخر انقسامها. وتعود التأثيرات المبكرة الرئيسة إلى تلف خلايا النخاع العظمي أو الخلايا المعوية تبعاً للجرعة الممتصة.

وتجدر الإشارة إلى أنه لا يوجد حد فاصل بين الجرعات الإشعاعية المميتة والجرعات غير المميتة. ولكن يمكن القول أنـه إذا كانـت الجرعـة أقل من **1.5** سيفرت يكون احتمال الوفاة المبكرة (أي فـي خـلال **10-15** يوماً من التعرض) محدودا. أما إذا زادت الجرعة عن حوالي 8 سيفرت يكون احتمال الوفاة المبكرة كبيراً.

الجرعة المميتة LD_{50}^{30} **Lethal Dose**

هي تلك الجرعة التي يتكبدها شخص من خلال فترة قصيرة (دقائق او ساعات أو أيام قليلة) والتي تؤدي إلى وفاة نصف المتعرضين لها (**50%** منهم) خلال **ثلاثين** يوماً من التعرض. وتصل قيمة هذه الجرعة في الإنسان إلى حوالي **4** سيفرت.

ومـن أهـم الأمـراض المبكـرة الناتجـة عـن التعـرض للجرعـات الكبيرة ما يلي :

(1) المرض الإشعاعي The radiation sickness

وينـتج عن الجرعـات التـي تصـل إلـى حـوالي **1** سيفرت أو تزيـد، ومن أهم أعراضه الشعور بالغثيان وحدوث القيء. ويظهر هذا المرض عادة بعد

عدة ساعات من التعرض، ويعود سببه إلى تلف الخلايا المبطنة للأمعاء. ويزيد احتمال الشفاء كلما قلت الجرعة ويقل بزيادتها.

(2) نقص كرات الدم البيضاء

إذا كانت الجرعة الإشعاعية التي تعرض لها الإنسان في حدود **3-10** سيفرت تحدث الوفاة عادة بسبب التعرض للعدوى الثانوية **Secondary infection** ، حيث أن مثل هذه الجرعات تؤدي إلى استنزاف كرات الدم البيضاء، وهي المسؤولة عن وقاية الجسم من العدوى. لذا، تعرف هذه المنطقة من الجرعات بمنطقة الموت بالعدوى، وعند التعرض لمثل هذه الجرعات يمكن زيادة فرص الشفاء وذلك بعزل المريض ووضعه في جو كامل التعقيم ونقل النخاع إليه لتنشيط عملية إنتاج كرات الدم البيضاء. إلا أنه ينبغي الإشارة إلى خبرة علاج المتعرضين في حادث تشرنوبل التي أكدت كبر احتمال الشفاء لكل من يوضع في جو شبه كامل التعقيم، في حين لم يثبت نقل نخاع العظام جدواه في الحفاظ على الأرواح.

(3) الالتهابات المعوية

إذا زادت الجرعة الإشعاعية عن حوالي **10** سيفرت ينخفض الزمن المحتمل لبقاء الإنسان علي قيد الحياة إلى حوالي **3-5** أيام، ويبقى هذا الزمن في نفس هذه الحدود حتى قيم عالية جداً من الجرعات. ويرجع سبب المرض في هذه الحالة إلى حدوث استنزاف وحشي للخلايا المعوية، وخاصة الخلايا المبطنة للأمعاء، فتهاجمها البكتريا بوحشية. لذا، يعرف هذه المدى من الجرعات بحدود الوفاة الناتجة عن الالتهابات المعوية Gestrointestinal death.

(4) إصابة الجهاز العصبي المركزي (CNS)

أثبتت التجارب على الحيوانات (حيث لا توجد نتائج عن الإنسان) أنه إذا زادت الجرعة إلى حدود عالية، تظهر بعض الأعراض التي تدل على حدوث بعض التلف في الجهاز العصبي المركزي. كما ثبت أن الوفاة الناتجة عن مثل هذه الجرعات العالية لا تتم في الحال حتى بالنسبة للحيوانات التي تعرضت لما يزيد على **500 سيفرت**.

(5) احمرار الجلد Erethema

الجلد معرض للإشعاعات المؤينة أكثر من أي نسيج آخر خصوصاً بالنسبة للإشعاعات السينية وجسيمات بيتا ذات الطاقة المنخفضة (لأن قدرتها على الاختراق صغيرة). لذا، فإنه عند تعرض الجلد البشري لجرعة في حدود **3** سيفرت من هذه الإشعاعات والجسيمات يصاب الإنسان بمرض احمرار الجلد، وعند زيادة الجرعة عن هذه الحدود يمكن أن تظهر أعراض أخرى كالحروق والتقيحات.

وتجدر الإشارة إلى أن مناسيب الجرعات الإشعاعية التي يمكن أن يتعرض لها العاملون في المحطات النووية أو في المصانع والمستشفيات التي تستخدم الإشعاعات والمواد المشعة لأغراض تطبيقية، تكون عادة أقل بكثير من تلك المناسيب الإشعاعية المؤدية للوفاة المبكرة، ولكن يمكن الحصول على الجرعات الخطرة نتيجة وقوع حادث نووي.

ومع ذلك فإن الجرعات الصغيرة التي يمكن أن يحصل عليها العاملون أثناء عمليات التشغيل العادي يمكن أن تؤدي إلى تأثيرات ضارة على المدى البعيد، وهذا ما يعرف بالتأثيرات المتأخرة.

ب – التأثيرات المتأخرة The late effects

(1) الإصابة بالسرطان

أصبح الآن معلوماً أن فنيي الأشعة بالمستشفيت أو المرضى الذين تم علاجهم أو تشخيص أمراضهم بجرعات كبيرة من الإشعاعات المؤينة

معرضون للإصابة ببعض أنواع السرطان أكثر من غيرهم ممن لم يتعرضوا لهذه الإشعاعات، وقد أثبتت الدراسات الحديثة على المجموعات البشرية التي تعرضت للإشعاعات المؤينة (دون الجرعات الخطيرة التي تؤدي للتأثيرات المبكرة) الناتجة عن التفجيرات النووية، أو البشر الذين تم علاجهم بالإشعاعات أو عمال مناجم اليورانيوم الذين يتعرضون لمعدلات مزادة من الإشعاعات المؤينة ، أو العاملون المهنيون في المجالات النووية والإشعاعية، إلى تأكيد قدرة الإشعاعات على استحثاث تكوين السرطان.

والسرطان هو عبارة عن تكاثر الخلايا في العضو المعين بمعدل أكبر من المعدل الطبيعي. ويعتقد البعض أنه ناتج عن تلف جهاز التحكم في الخلية، مما يؤدي إلى انقسامها بمعدل سريع. وتحمل الخلايا الوليدة نفس الصفة فتنقسم بدورها بنفس هذا المعدل السريع، مما يؤدي إلى تكوين نسيج سرطاني يضر بالأنسجة العادية في العضو المعين. وتقدير فرص احتمال الإصابة بالسرطان بسبب التعرض للإشعاعات عملية معقدة للغاية نظراً لعدم إمكانية فصل السرطان الناتج عن الإشعاعات المؤنية عن مثيلة الناتج ذاتياً.

ونتيجة للبحوث العلمية المكثفة التي يقوم بها المختصون في مجال البيولوجيا والفيزياء الإشعاعية، وللدراسات التي تقوم بها اللجنة العلمية للأمم المتحدة (UNSCEAR) واللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP) وعدد من اللجان العلمية الوطنية في اليابان والولايات المتحدة وأوربا، تمخضت هذه البحوث والدراسات عن العديد من النتائج التي أوضحت أن السرطانات الجامدة لا تظهر سوى بعد مدة من التعرض للإشعاع المؤين تتراوح بين حوالي **10، 30** سنة في حين أنه بالنسبة للوكيميا الدم (سرطان الدم) فإنها تظهر خلال فترة تتراوح بين حوالي **5، 12** سنة وباحتمالية أكبر بعد حوالي **6-8** سنوات من تاريخ التعرض.

النظائر المشعة فى الطب

هناك استعمالات كثيرة للنظائر المشعة في الطب. وكلما تقدمت التقنية العلمية كلما زاد استعمال النظائر المشعة فى الطب. وتشمل هذه الاستعمالات استخدام النظائر المشعة في التشخيص وفى العلاج.

فـي التشـخيص Diagnosis نسـتخدم الإشـعاع للكشـف عـن أداء جـزء معين مـن الجسـم ومعرفـة مـا إذا كـان هنـاك بعض الإعطـاب أو الخلـل فـي وظيفـة عضـو معين. وبالتـالى يسـاعد التشخيص على الحصول على معلومات كثيرة عن اداء العضو المعنى أو المصاب.

أما في العلاج Therapy فتستخدم النظائر المشعة لتدمير خلايا السرطان وغير ذلك من الاستخدامات.

وتعتبر النظائر المشعة قاعدة أساسيه لمعرفة تصرف بعض المركبات الكيميائية المختلفة في الجسم. وذلك عندما نستخدم هذه النظائر كمرشدات Tracers. ونختار أولا المـادة الكيميائيـة المناسبة في صوره عقار أو مركب كيميـائي. بحيث عند إدخالها إلـى الجسم فأنها تترسب في العضـو المطلـوب فحصـه أو تمر خـلال الجسم بطريقـه تزودنـا بمعلومـات معينـه عـن تصـرف عضـو مـا فـي الجسم ويقرن labelled المركب الكيميـائي المختـار إلـى النظير المستخدم اى يلصق Attached النظير المشع مع المركب الكيميائي عن طريق تفاعلات كيميائيـه معينـه. ثم يحقن أو يبلع المركب الكيميائي مع النظير المشع الملتصق به وبذلك يدخل إلى جسم الإنسان. ثم تعطى فتره زمنيه كافيه للمركب كي يصل إلى العضو المطلوب دراسته ويبدأ في إطلاق إشعاع γ الذي يمكن الكشف عنه وتسجيل صوره للعضو باستخدام آلات تصوير جاما أو الكواشف الأخرى.

ويجب توافر الشروط التالية فى النظير المشع المستخدم للتشخيص:

1. أن يطلق إشعاع γ ذي الطاقة المناسبة للكشف عنها باستخدام آلات تصوير حاما أو الكواشف الأخرى المناسبة . وتبلغ طاقه أشعه γ من 0.1 إلى 0.2 م. أ.ف.
2. أن لا يشع إشعاعات أخرى غير أشعة γ . اى يجب تقليل جرعة الامتصاص ما أمكن.
3. أن يكون ذا نصف عمر فعال مناسب (يتراوح بين 4-48 ساعة).
4. أن يكون مناسبا لإلصاقه بمواد كيمائيه مختلفة كما يجب أن لا ينفصل عن هذه المواد تحت اى ظرف خصوصا عند إدخاله إلى الجسم وتعرضه للتفاعلات الحيوية المختلفة.

أما النظائر المستخدمة للعلاج فيجب توافر الشروط التالية فيها:

1. أن يتم ترسبها في الأورام السرطانية المطلوب تدميرها. أو يمكن زرعها فيها جراحيا.
2. أن تطلق إشعاعا يؤثر فقط على الأورام السرطانية كإطلاق جسيمات α , β . لاحظ أن هذه الجسيمات غير مستحبه في تطبيقات التشخيص.
3. عند استخدامات أشعه X لعلاج السرطان عن طريق مصدر خارجي يجب أن يراعى اختيار مناسب يطلق نبضات عاليه الطاقة من أشعه x

(أ) الخصائص الاشعاعيه للنظائر المستعملة:

1. يجب أن تطلق هذه النظائر أشعه جاما ذات طاقات منخفضة حوالي 0.1-0.2 م . أ . ف وتكون هذه النظائر عبارة عن حالات ايزومتريه (تطلق أشعه γ فقط) أو تنتج أشعه γ عن طريق التحول الداخلي.
2. مشعات البوزيتون: وهذه ينتج عنها إطلاق إشعاع الإفناء الذي هو عبارة عن فوتونين ينطلقان في اتجاهين متضادين كل بطاقة قدرها 0.511 م.أ.ف.
3. مشعات جسيمات β تدمير خلايا السرطان. ولكنها لا تستخدم في التشخيص لارتفاع قيمه الجرعة الممتصة من الإشعاع.
4. مشعات جسيمات α : وهذه تتكون من العناصر الثقيلة. وبالرغم من صغر قوه الاختراق لجسيمات α إلا إنها خطره جدا على الجسم إذا ما تلوث بها و خاصة إذا وجدت بالقرب من الانسجه الحساسة. وبالتالي فاستخدامها في حقول الطب الإشعاعي محدودة.
5. مشعات أشعه γ عاليه الطاقة: حيث تبلغ طاقات أشعه γ مليون إلكترون فولت أو تزيد. وأمثال هذه العناصر مناسبة لتدمير خلايا السرطان عند استخدامها كمصدر خارج الجسم. ولكنها غير مناسبة لأغراض التشخيص.

السيطرة على الإشعاع: Control of Radiation Dose

عند التعامل مع الإشعاع لابد من العناية بتخفيض جرعه التعرض له ما أمكن. ويتم ذلك بعده طرق منها:

1. التغليف : shielding ويتم ذلك باحاطه مصدر الإشعاع بجدار واق من الصلب أو الخرسانة المسلحة concrete أو الرصاص. كما ويمكن أحاطه الشخص المعرض للإشعاع بجدر واقيه من المواد السابقة.
2. احتواء الإشعاع: containment وهنا تتم السيطرة على الإشعاع إذا كان المصدر على شكل غاز أو غبار جوى. فمثلا في المفاعلات الذرية يجب منع الغازات من الوصول إلى المبرد coo lent أما في معامل الإشعاع فيجب أن تتم العمليات داخل صناديق مغلقه كالقفازات وذلك لمنع المواد المشعة من التسرب إلى الهواء الجوى. كما ويمكن احتواء الإشعاع إذا تمت العمليات عند ضغط اقل من الضغط الجوى وبذلك نضمن عدم انتشار الإشعاع إلى الخارج.
3. العمل بعيدا عن مصدر الإشعاع حيث نعلم أن شده الإشعاع تتناقص عكسيا مع مربع البعد عن مصدره (قانون التربيع العكسي). وبذلك تمثل الاستفادة من هذا القانون إحدى الوسائل الممكنة للسيطرة على الإشعاع.
4. يمكن استخدام عامل الزمن للتخلص من الإشعاع. فنحن نعلم أن للمواد المشعة فتره نصف عمر تقل بعده فعاليه المادة المشعة إلى النصف. وبذلك يمكن الاستفادة من الزمن للتخلص أو للتقليل من جرعه الإشعاع الممتص.

استخدام المواد المشعة في التشخيص

تستخدم المواد المشعة في تقدير نسبة الهرمونات وبعض المواد الأخرى في الدم كما تستخدم في حالات المسح الإشعاعي لأعضاء كثيرة في جسم الإنسان وسوف نتطرق إلى ذلك بشيء من التفصيل .

1. تقدير نسبة الهرمونات وبعض المواد الأخرى في الدم Radio-immuno-Assay

تستخدم النظائر المشعة في تقدير كمية بعض المواد والأدوية والهرمونات في الدم وذلك باستخدام جهاز يسمي العداد الوميضي Scintillation counter وذلك بسحب عينة من دم المريض وفصل المصل (البلازما Serum (وإضافة النظير المشع الخاص بالمادة المعينة إليه، فمثلاً في تقدير نسبة هرمون الثيروكسين الذي تفرزه الغدة الدرقية يستعمل اليود125 ثم يوضع في جهاز العد الوميضي الذي عن طريق الحاسب الآلي المتصل بهذا الجهاز تتم قراءة نسبة وجود المادة في الدم وبطريقة حسابية وبيانية يتم حساب تقدير كمية هذه المادة في الدم.

ومن أمثلة هذه الهرمونات التي يتم تقديرها في الدم باستخدام النظائر المشعة :

- هرمونات الغدة النخامية مثل هرمون النمو، الهرمون المنشط للغدة الدرقية T.S.Hوالهرمونات المنشطة للمبيض في الأنثى والخصية في الذكر F.S.H and L.H.
- هرمونات الغدة الدرقية مثل هرمون الثيروكسين T3 & T4 & T7
- هرمون القشرة الكظرية مثل الكورتيزون Corticosteroid
- هرمون الغدة التناسلية الذكرية التيستوستيرون Testosterone
- هرمون غدة البنكرياس الأنسولين Insulin

ومن أمثلة المواد الأخرى التي تقدر كميتها في الدم بواسطة المواد المشعة هي :

- الديجوكسين Digoxin الذي يستخدم في أمراض القلب
- فيتامين ب 12
- حامض الفوليك Folic Acid
- الهيستامين Histamine

10. حالات المسح الإشعاعي للقلب والأوعية الدموية Myocardial and Heart Scan

ويستخدم في تحديد واتساع جلطة القلب وحالات اختلال سريان الدم في الأوعية الدموية والقلب وهناك أعضاء أخرى تستخدم فيها المواد المشعة ويتم مسحها وبيان أمراضها مثل الكلية والبنكرياس والغدد اللعابية والغدد الدمعية للعين والحويصلة المرارية .

استخدام المواد المشعة في العلاج

تستخدم المواد المشعة في حالات كثيرة وتأتي بنتائج مشجعة مثل استخدامها في علاج بعض الأورام الخبيثة وعلاج تسمم الغدة الدرقية ومن أمثلة المواد المشعة الآتي :

- الكوبالت وهو من المواد المشعة المستخدمة منذ وقت بعيد ويستخدم في علاج بعض الأورام السرطانية مثل سرطان الحنجرة وسرطان المثانة البولية وسرطان المخ والعظام والرحم .
- السيزيوم المشع الذي يستخدم في علاج سرطان
- الراديوم المشع ويستخدم على هيئة بذور أو إبر تزرع في مكان المرض في حالات مثل سرطان اللثة وسرطان عنق الرحم
- الذهب المشع ويستخدم في حالات سرطان وأورام الغدة النخامية
- اليود المشع وهو نظير مشع يستعمل بكثرة في تشخيص أمراض الغدة الدرقية وأيضاً في علاج بعض منها .

التصوير في الطب النووي

من المشاكل الرئيسية للحصول على صور لجسم الانسان وخصوصا الاعضاء الداخلية مثل القلب والدماغ والكلية والكبد هي ان جسم الانسان لايمر عبره الضوء مثل الزجاج والماء. واذا تطلب الامر تشخيص دقيق لمرض يصيب تلك الاعضاء كان يتطلب اجراء عملية جراحية لمعرفة ماذا اصاب جسم الانسان. ولكن في ايامنا هذه وبفضل الله علينا تمكن العلماء الفيزيائيين من استخدام العديد من التقنيات التي لا تتطلب عملية جراحية والتي تعرف بتقنيات التشخيص عن بعد non-invasive مثل استخدام اشعة اكس واستخدام الرنين المغناطيسي واستخدام الامواج فوق الصوتية واجهزة التصوير المقطعية والتي قد تحدثنا عنها بالتفصيل في مقالات سابقة. وبالطبع لكل من هذه التقنيات مزاياه وعيوبه التي جعلت لكل تقنية افضلية في توجيهها لمنطقة محددة من جسم الانسان للحصول على افضل وادق النتائج.

اما التصوير باستخدام تقنيات الطب النووي فهي تعطي للطبيب وسيلة للنظر داخل جسم الانسان، مستخدما المواد المشعة والكواشف الخاصة لها واجهزة الكمبيوتر المتطورة وتعتمد طرق التصوير النووي على التقنيات العلمية التالية:

(1) اشعاع البوزيترون الطبقي Positron emission tomography (PET)

(2) الاشعاع الفوتوني المقطعي Single photon emission computed tomography (SPECT)

(3) تصوير جهاز الدورة الدموية Cardiovascular imaging

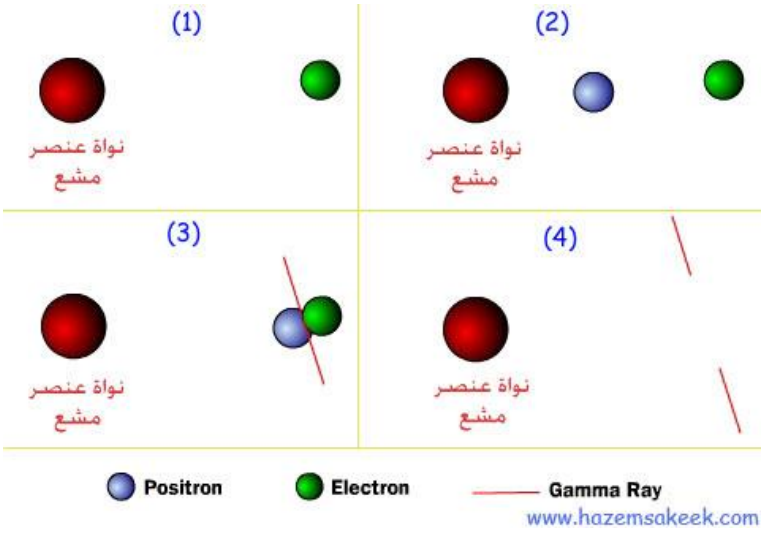
(4) اجهزة مسح العظام Bone scanning

www.hazemsakeek.com

تستخدم تلك التقنيات الاربعة خصائص مختلفة للعناصر المشعة للحصول على الصور وللعلم فإنه تعتبر الطريقة الامثل للحصول عى صور للاورام السرطانية tumors وللمناطق الضعيفة في الأوردة الدموية aneurysms واكتشاف العجز في تدفق الدم في اعشية جسم الانسان thyroid وكذلك الخلل الذي قد يصيب الرئتين deficiencies pulmonary function. وبناء على الحالة المرضية فإن الطبيب قد يوجه المريض للحصول على فحص يعتمد على اي من التقنيات الاربعة السابقة واحياناً يتطلب التشخيص استخدام اكثر من تقنية. وسوف نشرح فكرة عمل كل تقنية من هذه التقنيات

اشعاع البوزيترون الطبقي (tomography (PET Positron emission

يمكن باستخدام تقنية اشعاع البوزيترون الطبيقي PET الحصول على صورة لجسم الانسان من خلال التقاط الاشعاع الذي يصدر عن المواد المشعة التي يحقن بها جسم المريض والتي تكون اما كاربون-11 أو فلورين-18 أو أكسجين-15 أو نيتروجين-13، وكل هذه العناصر مواد مشعة لها عمر نصف قصير جداً. ويتم الحصول على هذه المواد المشعة من خلال تسليط نيوترونات معجلة على ذرات تلك العناصر لتصبح مشعة ولفترة زمنية قصيرة. عند حقن جسم الانسان بتلك العناصر المشعة التي جهزت بواسطة معجل السيكلترون فإنها تطلق جسيمات تسمى البوزيترون وهذا البوزيترون هو جسيم اولي له نفس كتلة الالكترون ولكن يحمل شحنة الإلكترون ولكن موجبة. البوزيترون جسيم موجب يتحد مع الكترون في جسم الانسان وينطلق عن هذا الاتحاد فوتونين كل فوتون عبارة عن اشعة جاما والتي تستخدم للحصول على الصورة كما سيتم شرحه من خلال كاميرات خاصة تسمى كاميرا جاما Gamma Camera.



يوضح الشكل مراحل اتحاد البوزيترون مع الالكترون لاطلاق فوتونيين جاما

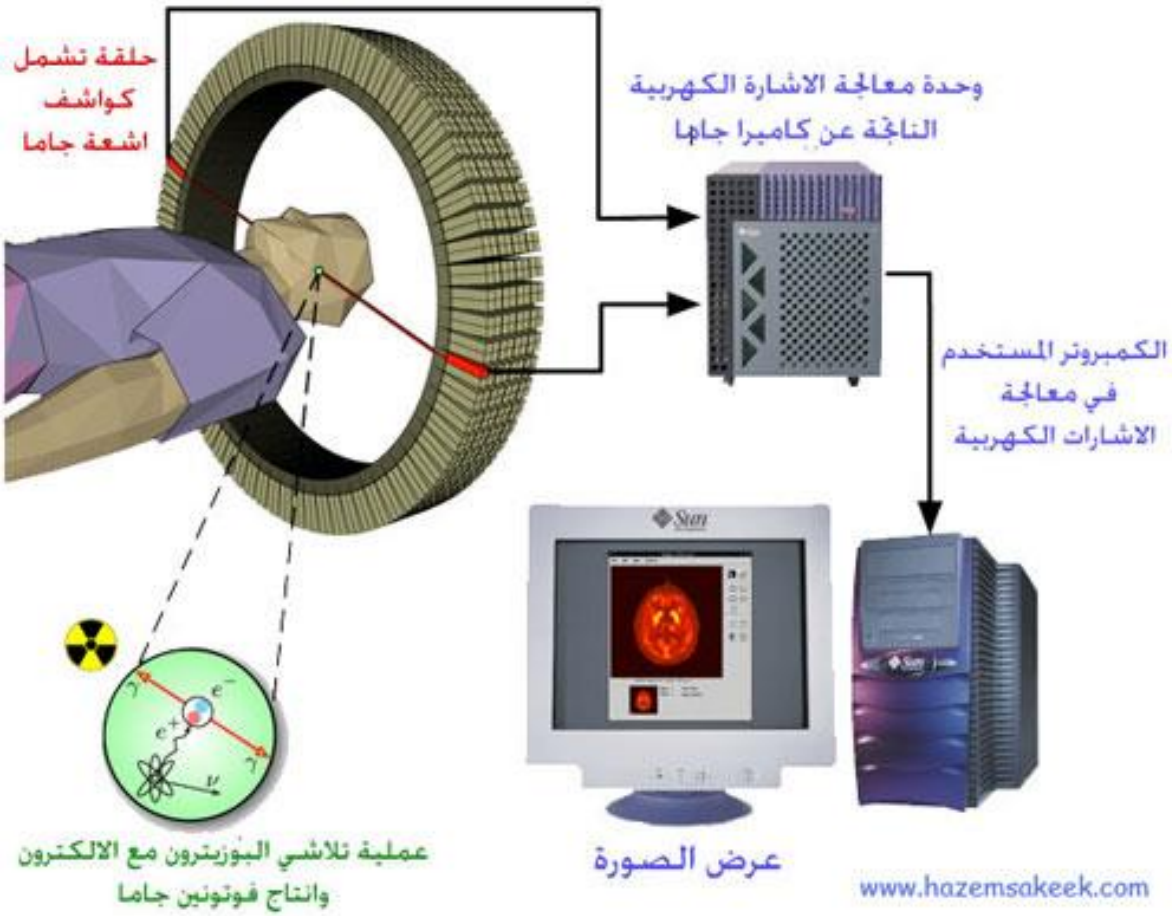
(1) يوجد في جسم الانسان العنصر المشع الذي حقن به ويوجد الكترون من ذرات جسم الانسان بالقرب من نواة العنصر المشع. (2) تطلق نواة العنصر المشع البوزيترون

(3) يتحد البوزيترون مع الالكترون

(4) يتلاشى الالكترون والبوزيترون وتتحول كتلتهما إلى طاقة يحملها فوتونين بطاقة اشعة جاما

كيف تتكون الصورة من فوتونات اشعة جاما؟

في تقنية التصوير باستخدام PET يتم حقن المريض بمادة مشعة ويتم وضعه على سرير خاص متحرك ليدخل في حلقة كما في الشكل المبين ادناه. وفي داخل هذه الحلقة يوجد كواشف اشعة جاما والتي تعرف باسم كاميرا جاما، وتتكون هذه الكواشف من سلسلة من بلورات خاصة تعرف باسم scintillation crystals كل بلورة متصلة مع مكبر فوتوني يعرف باسم photomultiblier tube وتعمل البلورات على تحويل اشعة جاما المنطلقة من جسم الانسان إلى فوتونات ضوئية يتم تحويل الفوتونات الضوئية الى الكترونات عندما تستقبل بواسطة المكبر الفوتوني والتي تعمل على تكبيرها الاف المرات لتشكل اشارة كهربائية. هذه الاشارات الكهربائية تعالج بواسطة الكمبيوتر لتكون الصورة. ويتحرك السرير ببطء ليتم التقاط اشارات اخرى وتأخذ صور لكل جزء من الجسم حسب حركة السرير داخل الحلقة. وبهذه الطريقة يحصل الطبيب على مسح كامل للمنطقة المحددة من جسم الانسان مثل الدماغ أو الصدر او الكبد. يتم تجميع هذه الصور الطبقية في ذاكرة الكمبيوتر والذي يقوم بمعالجتها وتحويلها إلى صور ثلاثية الابعاد.



مخطط يوضح فكرة عمل كاميرا جاما المستخدمة في التصوير بتقنية PET

المهم في هذا الموضوع هو ان بعض الخلايا تتأثر بشدة بالاشعاعات المؤينة مثل اشعة جاما وبيتا والفا واشعة اكس. وحيث ان الخلايا الحية تنقسم بمعدلات مختلفة فإن الخلايا التي تنقسم بمعدلات عالية تتأثر اكثر بالاشعة من الخلايا التي تنقسم بمعدلات طبيعية وهذا يعود إلى الخاصيتين التاليتين:

(1) الخلايا تتمتع بقدرة على اصلاح اية اصابة في الـ DNA

(2) اكتشفت الخلية ان الـ DNA قد اصيب بالاشعة اثناء الانقسام فإن الخلية تدمر نفسها.

وبهذا فإن الخلايا التي تنقسم بسرعة لا تمتلك الوقت الكافي لاصلاح الضرر في الـ DNA وبالتالي فإن فإنها تموت فوراً عندما تتعرض للاشعاعات النووية.

وبما ان الخلايا السرطانية تمتلك خاصية الانقسام بسرعة كبيرة فإنها عندما تتعرض الى جرعات من المواد المشعة فإنها تعمل على قتلها وبهذا فإن تعريض الاجزاء المصابة بالخلايا السرطانية في جسم الانسان إلى الاشعاعات النووية يعتبر نوع من العلاج. حيث يتم تثبيت المواد المشعة في صورة اسلاك رفيعة بجوار المناطق المصابة ولكن في المناطق العميقة التي قد تكون مصابة يتم تسليط اشعة اكس بتركيز عالي عليها.

وتكمن المشكلة في هذه الطريقة من العلاج إلى تعرض الخلايا السليمة التي تنقسم بسرعة في جسم الانسان للموت بسبب تواجد تلك الاشعاعات مثل خلايا الشعر وخلايا المعدة خلايا الجلد وخلايا الاوعية الدموية ولهذا تتعرض تلك الخلايا السليمة لاشعة وتصيبها عند محاولة القضاء على الخلايا السرطانية. ولهذا نجد ان المرضي الذين يتعرضوا لجرعات من المواد المشعة كعلاج يحدث تساقط للشعر ويصابوا بالصلع.

5 تطبيقات النظائر المشعة فى 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 .

5.1 التصوير الاشعاعي : radiography

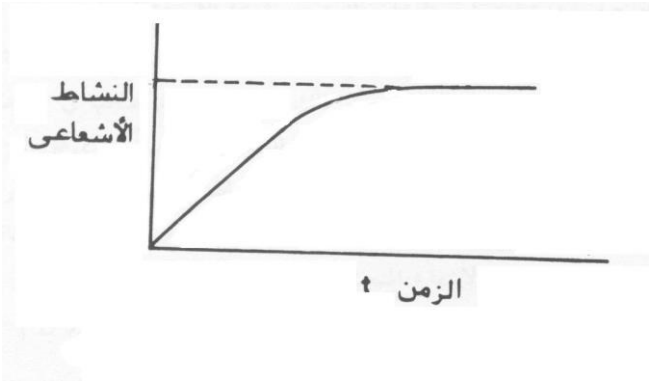
يطلق اسم التصوير الاشعاعي بشكل عام علي فحص التركيب الداخلي للكائنات الحية أو الاجسام باستخدام الاشعة السينية أو اشعة جاما أو النيترونات حيث يتم الحصول علي الاولي من اجهزة توليد الاشعة السينيه في حين تنبعث الثانية والثالثة من نظائر مشعة مناسبة ويتم تشخيص الأمراض عن طريق التصوير الاشعاعي بدراسة الظلال 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 تقريباً حيث يكون اختراقها للاجسام الاكثر كثافة أكثر من اختراقها للمواد الاقل كثافة وتحلل الظلال بناء علي ذلك

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

التشخيص بإستشفاف النظائر المشعة :diagnosis by radio isotopes tracing

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



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

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

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

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

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 النادره حيث يمكن بهذه الطريقه الكشف عن 76 عنصرا لا تتعدي كمياتها جزءاً من البليون من الجرام , في حين يمكن الكشف عن 11 عنصراً لا تزيد كميتها عن جزء من مليون مليون من الجرام , ولهذه الطريقه تطبيقات كثيره في المجالات المختلفة نذكرها في موضعها .

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 السرطانيه فتقتلها ,وبالطبع فان هذا يؤدي الي حصر انتشار السرطان ولكنه في الوقت نفسه يؤدي الي قتل خلايا حيه الامر الذي ينتج عنه بعض العوارض الثانويه كتساقط الشعر والغثيان وغير ذلك , الا ان تلك العوارض اهون بكثير من استشراء المرض وانتشاره في كافة انحاء الجسم , وقد تم تحقيق نجاح لا باس به في محاربة هذا المرض الخبيث باستخدام النظائر المشعه , الا ان هذا النجاح يتوقف علي نوع الورم ومكانه ومدي انتشاره في الجسم , وفي بعض الاحيان يحقن النظير المشع علي شكل ساءل يحتوي علي نظير البورون , وفي احيان اخري يزرع النظير المشع في الجسم في اقرب مكان لمركز الورم , وتستخدم ايضا بعض مصادر النيوترونات مثل الكالفورنيوم -252

تعقيم المواد الطبية : sterilization of medical materials

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

6استخدامات النظائر المشعة في الزراعة :

Radio isotopes applications in agriculture

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

دراسة امتصاص النباتات لعناصر بطرقة الاستشفاف

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

مختلفة في النبات بواسطة كاشف اشعاعي مناسب يمكن حساب كمية النظير المشع الممتص ومن حساب الفسفور الكلي الممتص وتقييم كفاءة السماد .

احداث طفرات في البذور الزراعيه

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

حفظ الاغذيه بالتشعيع food conservation by irradiation

إن تشعيع المواد الغذائيه باشعة جاما بطاقه كافيه ولفتره مناسبة يؤدي الي قتل الكائنات الدقيقه فيها , الامر الذي يطيل مدة بقائها بدون تلف , وقد بدأت دراسات جدوي هذه الطريقه في حفظ المواد الغذائيه منذ عام 1953 تقريبا , وقد 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 عزي هذا التغيير في الطعم واللون الي حدوث بعض التغيرات الكيميائيه في الماده الغذائيه والتي لا يستبعد ان يكون لها بعض التاثيرات الصحيه الضاره , وقد وجد انه يمكن

كواشف الإشعاعات وأجهزة قياس الجرعات الإشعاعية

3- 1 مقدمة

يقوم مبدأ الكشف عن الإشعاعات المؤينة على استخدام ظاهرة تأيين أو إثارة ذرات أو جزئيات مادة الكاشف عند سقوط هذه الإشعاعات عليها. فعند سقوط الجسيمات الثقيلة على المادة يتكون عدد من الأزواج الإلكترونية – الأيونية في المادة. ويتناسب عدد هذه الأزواج مع طاقة الجسيمات الساقطة. وعند تجميع الإلكترونات أو الأيونات الناتجة عن التأين وقياس الشحنة الكهربائية الناتجة عن هذه الأزواج (أو التيار الكهربائي الناتج) يمكن معرفة عدد هذه الجسيمات وطاقتها. وفي حالة إثارة الذرات يمكن أن ينتج عن هذه الإثارة انطلاق ضوء مرئي يمكن تسجيله بسهولة، وبالتالي يمكن الكشف عن الجسيم الذي أحدث هذه الإثارة.

وهناك أنواع أخرى من الكواشف تقوم أساساً على قياس التغيرات الكيميائية التي تحدثها الإشعاعات عند سقوطها على بعض المركبات الكيميائية. كذلك، توجد أنواع أخرى من الكواشف تستخدم للكشف عن النيوترونات، وذلك بقياس النشاط الإشعاعي المتكون في بعض المواد نتيجة تشعيعها (تعريضها) بالنيوترونات. وعموماً، يتوقف نوع الكاشف المستخدم على عدة عوامل أهمها:

1 - نوع الإشعاعات المطلوب الكشف عنها.
2 - كثافة هذه الإشعاعات.
3 - طاقة الإشعاعات.

3-2 الكواشف الغازية The gas detectors

ورد في الباب الثاني أنه عند سقوط الإشعاعات على المادة ينتج عن ذلك تأيين ذرات أو جزيئات الغاز وتكوين عدد من الأزواج الإلكترونية – الأيونية. ويتناسب هذا العدد مع الطاقة الممتصة داخل الغاز . وعند تجميع الشحنة الكهربائية الناتجة عن كل من الإلكترونات السالبة أو الأيونات الموجبة وقياسها أو قياس التيار الناتج عنهما يمكن معرفة طاقة الإشعاعات الساقطة وعددها. وتقوم الكواشف الغازية على قياس التيار الكهربائي للإلكترونات والأيونات الناتجة عن مرور الإشعاعات في حيز معين من الغاز، وتنقسم هذه الكواشف إلى عدة أنواع هي:

غرفة التأين The ionization chamber

غرفة التأين (شكل 3-1) هي عبارة عن إناء يمكن أن يتخذ أشكالاً وأحجاماً مختلفة، ويملأ الإناء بأحد الغازات الخاملة أو بالهواء الجوي تحت ضغط معين (حسب نوع الغرفة). ويوجد بداخل الغرفة قطبان فلزيان يوصلان بقطبي مصدر جهد (بطارية)، وعند مرور الإشعاعات في الغاز تتكون الأزواج الإلكترونية – الأيونية، وعند وجود فرق جهد بين القطبين تجذب الإلكترونات السالبة في اتجاه القطب الموجب (المصعد أو الأنود)، وتجذب الأيونات الموجبة في اتجاه القطب السالب (المهبط أو الكاثود). ويؤدي سريان تلك الشحنات الكهربائية إلى مرور تيار كهربائي يتناسب مع عدد الإشعاعات الساقطة وطاقتها، فعند دخول بروتون ذو طاقة 1 ميغا إلكترون فولت إلى الغرفة، وفي حالة توقف هذا البروتون بالكامل داخل الغاز يتكون عدد من الأزواج الإلكترونية الأيونية مقداره:

$$1000000 \div 33 = 30000 \text{ زوج}$$

وحيث أن شحنة الإلكترون = 1.6×10^{-19} كولوم تكون الشحنة الناتجة عن أي نوع منهما هي $30000 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4.8 \times 10^{-15}$ كولوم، وإذا كان عدد البروتونات التي تدخل في الثانية الواحدة عبارة عن ألف

بروتون تكون الشحنة الناتجة هي :

$4.8 \times 10^{-15} \times 1000 = 4.8 \times 10^{-12}$ كولوم،

وبالتالي تكون شدة التيار المار هي:

4.8×10^{-12} كولوم/ 1 ثانية = 4.8×10^{-12} أمبير

عند زيادة فرق الجهد بين المصعد والمهبط (الأنود والكاثود) فوق قيمة معينة (تختلف لكل غرفة) يتضاعف التيار الكهربائي للغرفة،

ويرجع السبب في ذلك إلى أن الإلكترونات الأولية الناتجة عن تأين الجسيم النووي الساقط على الغاز لذراته تكتسب الإلكترونات المتكونة طاقة حركية كبيرة عند زيادة فرق الجهد. فتصبح هذه الإلكترونات الابتدائية قادرة على تأيين ذرات جديدة من ذرات الغاز قبل وصولها إلى المصعد (الأنود). وهكذا، يمكن عند هذه الجهود العالية أن تحدث عدة مراحل من التأيين المتتابع (شكل 3-2) بحيث يتضاعف عدد الإلكترونات التي تصل إلى المصعد. فإذا كان عدد الإلكترونات الأولية الناتج عن الجسيم النووي هو N_o يمكن أن يتضاعف هذا العدد عند الجهود العالية، بحيث يصبح N_o M ، حيث M معامل التضاعف، ويتراوح هذا المعامل بين 1، 10^3 وذلك حسب قيمة فرق الجهد بين المصعد والمهبط.

ويلاحظ في هذا العدَّاد أن عدد الإلكترونات التي تصل للأنود يتناسب مع عدد الإلكترونات الأولية N_o ، أي مع طاقة الجسيم النووي. لذا، يعرف هذا العداد بالعدَّاد التناسبي. أما كلمة عداد فترجع إلى أن هذا الكاشف يسجل الإشعاعات واحدة تلو الأخرى، أي أنه يقوم بعدها. فعند دخول الجسيم النووي إلى العداد يؤدي هذا الجسيم إلى تأيين ذرات الغاز، ثم تضاعف عدد الأيونات والإلكترونات، وتتجمع الإلكترونات على المصعد، مما يؤدي إلى ظهور نبضة كهربائية على المصعد، وهذا يعني مرور جسيم واحد. وفي هذا الأمر يختلف العداد التناسبي عن غرفة التأين التيارية التي تقيس متوسط التيار الناتج عن عدد من الجسيمات. ولكن تجدر الإشارة إلى أنه يمكن عمل غرف تأين نبضية وذلك لعد الإشعاعات واحدة تلو الأخرى، وعندئذ يلزم توصيل الغرفة بمضخم نبضات ذات معامل تكبير كبير، كما يجب أن يكون هناك فاصل زمني بين الجسيم والجسيم الذي يليه حتى يمكن فصل النبضات عن بعضها.

عداد غايغر – ميولر Geiger – Muller counter

عند زيادة فرق الجهد بين المصعد والمهبط إلى ما فوق المنطقة التناسبية، يزداد معامل التضاعف M ، ويصل إلى قيمة كبيرة للغاية، بحيث أنه عند تكوّن إلكترون واحد داخل العداد فإنه يؤدي إلى حدوث تفريغ كهربائي داخل العدّاد. وعندئذ لا يتناسب عدد الإلكترونات التي تصل للمصعد مع عدد الإلكترونات الأولية، أي أنه لا يوجد تناسب بين طاقة الجسيم النووي والنبضة الكهربائية على مصعد العدّاد.

وهكذا، يستخدم عداد غايغر – ميولر لعد الجسيمات النووية دون إمكانية تحديد طاقتها. ويفضل استخدام هذا العداد نظراً لكبر النبضة الكهربية الناتجة عنه، حيث أنه يمكن الاستغناء عن الدارة الإلكترونية التي تستخدم عند مخرج العداد التناسبي لتكبير النبضات.

وعموماً، يكون كل من العداد التناسبي وعداد غايغر – ميولر على شكل أنبوب أسطواني فلزي. ويكون المصعد عبارة عن سلك رفيع جداً موضوع بطول محور الأنبوب الأسطواني، ويكون المهبط عبارة عن جسم هذا الأنبوب. وتملأ هذه العدادات بخليط معين من الغازات يمكن أن يختلف باختلاف الغرض من العداد ونوعه.

3-3 الكواشف الوميضية Scintillation detectors

عند سقوط الإشعاعات المؤينة، كالجسيمات المشحونة الثقيلة وجسيمات بيتا وإشعاعات جاما على بعض المواد تثار ذرات أو جزيئات هذه المواد، ثم تعود الذرات المثارة إلى حالتها المستقرة. وعند عودة الذرة المثارة إلى الحالة المستقرة ينطلق وميض ضوئي (فوتون ضوئي). وتعرف مثل هذه المواد (بالمواد الوميضية). وللكشف عن الإشعاعات المؤينة باستخدام المواد الوميضية يتم اختيار المواد الوميضية السريعة، أي التي ينطلق وميضها خلال زمن لا يتجاوز ميكروثانية واحدة (ميكروثانية = 10^{-6} ثانية) من لحظة الإثارة،فعند سقوط فوتون جاما بطاقة مقدارها 1.5 ميغا إلكترون فولت، يمكن أن يحدث هذا الفوتون انطلاق إلكترون بأحد العمليات الثلاثة (راجع الباب الثاني) . فلو حدث الأثر الكهروضوئي داخل المادة الوميضية ينطلق إلكترون حاملاً كل طاقة الفوتون، أي طاقة مقدارها 1.5 ميغا إلكترون فولت ويقوم هذا الإلكترون بهذه الطاقة بإثارة حوالي 15000 ذرة من ذرات المادة الوميضية قبل أن يتوقف، وينتج عن ذلك ومضة ضوئية مكونة من هذا العدد من الفوتونات الضوئية (وليس فوتون جاما)، ويتم الكشف عن هذه الومضة باستخدام أنبوب التضاعف الفوتوني.

أنبوب التضاعف الفوتوني The photomultiplier tube, PMT

هي عبارة عن أنبوب زجاجي مفرغ تفريغاً جيداً من الهواء، وتحتوي على مهبط (كاثود) كهروضوئي **Photoelectric cathode** . فعند سقوط الضوء الناتج من المادة الوميضية على هذا المهبط ينطلق منه عدد من الإلكترونات، يتناسب مع عدد الفوتونات الضوئية الساقطة عليه. وتحتوي الأنبوب على عدة أقطاب (دينودات **Dynodes**) الغرض منها مضاعفة عدد الإلكترونات الخارجة من المهبط. فعندما يكون جهد الدينود الأول موجباً بالنسبة للمهبط تتجه الإلكترونات الخارجة من هذا المهبط إلى الدينود الأول. وإذا كان جهد هذا الدينود عالياً تكتسب الإلكترونات طاقة كافية، بحيث تصبح قادرة على تحرير عدد آخر من الإلكترونات عند تصادمها مع الدينود. وبذلك، يتضاعف عدد الإلكترونات . كذلك، فإنه إذا كان جهد الدينود الثاني أعلى من جهد الأول، يمكن أن يتضاعف عليه عدد الإلكترونات مرة أخرى. وهكذا، يستمر تضاعف الإلكترونات على الدينودات إلى أن يتم تجميعها على القطب الأخير للأنبوب المسمى بالمصعد . وبذلك ، تتجمع على المصعد شحنة إلكترونية تتناسب مع عدد الفوتونات الواقعة على المهبط (الكاثود) أي مع طاقة الجسيم النووي الساقط على المادة الوميضية.

وتجدر الإشارة إلى أن معامل التضاعف في الأنبوب يتزايد بمعدل سريع جداً بزيادة فرق الجهد بين الدينودات.

وتستخدم مادة يوديد الصوديوم **NaI (Tl)** المزودة بعنصر التاليوم الثقيل في شكل متبلور كمادة وميضية للكشف عن إشعاعات جاما. ويتراوح حجم البلورات المستخدمة لهذا الغرض بين أقل من نصف بوصة للقطر، وأقل من نصف بوصة للارتفاع وبين أكثر من عشر بوصات لكل من القطر والارتفاع تبعاً لطاقة إشعاعات جاما والكفاءة المطلوبة للكاشف. أما بالنسبة للجسيمات الثقيلة فتستخدم طبقة رقيقة من كبريتيد الخارصين **ZnS** كمادة وميضية.

أما بالنسبة للكشف عن النيوترونات باستخدام الكواشف الوميضية فتستخدم بللورة تحتوي على خليط من كبريتيد الخارصين والبراقين (لاحتواء البراقين على نسبة عالية من الهيدروجين). وعند اصطدام النيوترون بالهيدروجين ينطلق البروتون الذي يسجل في الكاشف الوميضي من نوع كبريتيد الخارصين، فتنطلق الومضة الضوئية التي يسجلها أنبوب التضاعف الفوتوني

3-4 الكشف عن الإشعاعات باستخدام الأفلام الحساسة

عند مرور الإشعاعات المؤينة خلال أفلام التصوير الحساسة المعروف **The photo-emulsion films** فإنها تؤين المادة المستحلبة الحساسة
(وهي بروميد الفضة) بنفس الأسلوب الذي يحدث نتيجة وقوع الضوء على هذه الأفلام. والفيلم الحساس عبارة عن شريحة رقيقة من مادة بلاستيكية شفافة تغطي من أحد الأوجه أو من الوجهين بطبقة رقيقة من مستحلب بروميد الفضة، وعند مرور الإشعاعات أو الضوء في هذا الفيلم تتكون حبيبات صغيرة من الفضة الفلزية نتيجة كسر الإشعاعات للرابطة بين البروم والفضة. وعند معالجة الفيلم بأحماض الإظهار والتثبيت، تظهر حبيبات سوداء من الفضة الفلزية على الفيلم في الأماكن التي تعرضت للإشعاع أو الضوء، وهنا تجدر الإشارة إلى أنه للحصول على نتائج صحيحة يجب اختيار التركيز المناسب لأحماض الإظهار والتثبيت، وكذلك اختيار درجة الحرارة المناسبة للمعالجة . وللكشف عن الإشعاعات المؤينة تستخدم أفلام حساسة مقاس 30×40 مم موضوعة داخل غلاف أسود محكم لعدم تعرضها للضوء. وبعد تعرض الفيلم للإشعاعات ومعالجته يتم عده بواسطة جهاز قياس العتامة Denistometr ، لقياس العتامة (الاسوداد) المتكونة، ومن العتامة المتكونة يتم تحديد كمية الإشعاعات وذلك بواسطة منحنيات خاصة للمعايرة يتم تجهيزها

3-5 أجهزة قياس الجرعات الشخصية Personal dosimeters

يوضع جميع العاملين بالإشعاعات أو المواد المشعة تحت الرقابة الإشعاعية. وتتم هذه الرقابة عموماً بأسلوبين هما:

أ – إجراء المسح الإشعاعي للمناطق أو المختبرات التي يتوفر فيها نوع من الإشعاعات أو المواد المشعة، وذلك بغرض تحديد المستويات الإشعاعية السائدة فيها، وبالتالي تحديد أقصى زمن لوجود العاملين في هذه الأماكن. ويستخدم هذا الأسلوب عادة في المناطق المسماة بالمناطق الخاضعة للإشراف التي تخضع عادة لقيود رقابية أقل صرامة.

ب – قياس الجرعة الشخصية التي يتعرض لها الشخص المعين وذلك باستخدام أجهزة قياس الجرعات الشخصية، بغرض تحديد وتدوين الجرعة التي يتعرض لها هذا العامل واقعياً. ويعتبر هذا الأسلوب

ملزماً بالنسبة لجميع العاملين في المناطق المعروفة باسم المناطق المراقبة **controlled areas** وعموماً، تنقسم أجهزة قياس الجرعات الشخصية إلى عدة أنواع منها ما يلي :

شارة الفيلم الحساس The film badge

كان الفيلم الحساس من أكثر الوسائل انتشاراً كمقياس للجرعة الشخصية. ويتكون هذا المقياس من فيلم حساس يوضع داخل حافظة خاصة من البلاستيك تعرف بشارة الفيلم الحساس. ويختلف نوع الفيلم المستخدم باختلاف الغرض المخصص له. ويستخدم الآن في بعض دول العالم أفلام **Radiation monitor** خاصة بالكشف عن الإشعاعات، وهي عبارة عن شريحة رقيقة من البلاستيك مغطاة من كلا الوجهين بالمستحلب الحساس، بحيث يكون المستحلب على أحد الأوجه شديد الحساسية للإشعاعات، في حين يكون من النوع ضعيف الحساسية على الوجه الآخر. والغرض من ذلك هو امكانية قياس الجرعات الممتصة في مدى واسع. فالمستحلب شديد الحساسية يمكن من قياس الجرعات الفعالة التي تتراوح بين **50** ميكروسيفرت، **50** ميللي سيفرت. أما إذا زادت الجرعة عن **50** ميللي سيفرت، فإن هذا يؤدي إلى نزع طبقة المستحلب شديد الحساسية من الفيلم عند معالجته كيمائياً (أي عند تظهيره وتثبيته) في شكل قشرة رقيقة وتبقى طبقة المستحلب ضعيف الحساسية. وبذلك، يمكن قياس الجرعات الفعالة التي تتراوح بين **50** ميللي سيفرت وحوالي 10 سيفرت. ويستخدم أحياناً زوج من الأفلام بدلاً من استخدام فيلم واحد.

أما الحافظة (شكل 3-4) فهي عبارة عن علبة رقيقة من البلاستيك تحتوي على عدة فتحات ونوافذ وذلك لإمكان تثبيت عدة قطع بلاستيكية أو فلزية تعمل بمثابة المرشحات للكشف عن نوع الجسيمات وطاقاتها. فيتم الكشف عن أشعة بيتا في جزء الفيلم الواقع تحت الفتحة الموجودة في العلبة. وأما إشعاعات جاما فتقاس تحت النافذة المثبت فيها قطعة من الرصاص. وأما النيوترونات البطيئة فيتم قياسها بمعرفة الفرق في

امثلة محلولة

أ) تركيب النواه

- تتركز النواة في جسم صغير ذي شحنة موجبة تسمى نواة الذرة Nucleus
- تحتوي النواة على بروتونات (P)و نيوترونات (N) وتسمى البروتونات أو النيوترونات بالنيوكلونات
- يرمز لأي عناصر بـ $^{A}_{Z}X$
- حيث Z هو العدد الذري ويساوي عدد البروتونات (P) بالنواة وكذلك يساوي عدد الإلكترونات (e) بالذرة المتعادلة كهربيا
- و A هو العدد الكتلي ويساوي مجموع عدد النيوترونات والبروتونات (A=N+Z)

ج) كتلة النواة:

تقاس كتلة النواة بوحدة الكتلة الذرية (و.ك.ذ.) (u):

1/12 من كتلة ذرة نظير الكربون-12، أي ان كتلة ذرة الكربون-12 تساوي 12 ك.و.ذ.

$1\ u = 1.660566 \times 10^{-27}\ kg = 931.5\ MeV/c^2$

حساب الطاقة المكافئة لكتلة ذرية واحدة:

$m=1u$

$E= mc^2 = 1u \times c^2$

$= 1.660566 \times 10^{-27}\ kg \times (3\times10^{8}\ m/s)^2$

$= 0.149 \times 10^{-9}\ j$

$= 0.149 \times 10^{-9}\ j / 1.6\times10^{-19}\ j/MeV$

$= 931.5\ MeV$

حساب الطاقة المكافئة لكتلة ذرية واحدة:

m=1u

$E= mc^2 = 1u \times c^2$

$= 1.660566 \times 10^{-27}\ kg \times (3\times10^8\ m/s)^2$

$= 0.149 \times 10^{-9}\ j$

$= 0.149 \times 10^{-9}\ j / 1.6\times10^{-19}\ j/MeV$

$= 931.5\ MeV$

Particle	kg	u	MeV/
Proton	$1.672\,62 \times 10^{-27}$	1.007 276	938.28
Neutron	$1.674\,93 \times 10^{-27}$	1.008 665	939.57
Electron	$9.109\,39 \times 10^{-31}$	$5.48\,579 \times 10^{-4}$	0.510 999
$^{1}_{1}$H atom	$1.673\,53 \times 10^{-27}$	1.007 825	938.783
$^{4}_{2}$He nucleus	$6.644\,66 \times 10^{-27}$	4.001 506	3 727.38
$^{12}_{6}$C atom	$1.992\,65 \times 10^{-27}$	12.000 000	11 177.9

د – حجم النواة:

نصف قطر النواة $r \approx 10^{-15} m$ ⇐

نصف قطر الذرة $r \approx 10^{-11} m$ ⇐

يتناسب مكعب نصف قطر النواة طردياً مع A

$$A \alpha r^3 \rightarrow r \alpha A^{1/3}$$

$$r = r_0 A^{1/3} = 1.2x10^{-15} A^{1/3}$$

حجم النواة: $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = (\frac{4}{3}\pi r_0^3) A$

الكثافة: $\rho = \frac{m}{V}$ ⇐ $\rho = \frac{m}{V} = \frac{Ax1.660566x10^{-27}\ kg}{(\frac{4}{3}\pi r_0^3) A} = 2.3x10^{17}\ kg/m^3$

لجميع النوى

3-14 استقرار النواة:

القوى النووية أكبر من قوة التنافر الكهربية بين البروتونات بحوالي 40 مرة. لا يظهر أثرها عند المسافات الكبيرة. تعمل على جذب كل النيوكلونات بالنواة ولا تعتمد على الشحنة الكهربية للجسيمات.

4-14 الطاقة الرابطة النووية Nulear Binding Energy

كتلة النواة < مجموع كتلة البروتونات + النيوترونات

$$M = Z*m_P + Z*m_e + N*m_n$$

$$B.E. = [Mcal - M\text{expt.}]\ x931.5MeV$$

$$B.E.(MeV) = \left[\left(Z*m_P + Z*m_e + N*m_n \right) - \left(M\ {}^{A}_{Z}X \right) \right](u)\ *931.5(MeV/u)$$

مثال 14-2 :

$$M\left({}^{56}_{26}Fe\right) = 55.934937u$$

$$B.E. = \left[n_p.m_p + n_p.m_e + n_n.m_n - M\left({}^{56}_{26}Fe\right) \right] x931.5MeV$$

$$B.E. = \left[Z.m_H + (A-Z).m_n - M\left({}^{56}_{26}Fe\right) \right] x931.5MeV$$

$$= 492.2663MeV$$

$$\frac{B.E.}{A} = 8.79MeV$$

مثال: احسب الطاقة الرابطة لكل نيوكلون في ذره الكربون.

- تحتوي ذرة الكربون-12 على 6 بروتونات و6 نيوترونات لذلك فأن كتلتها تساوي:

$M = (6 \times m_p) + (6 \times m_n) = 12.095646\ u$

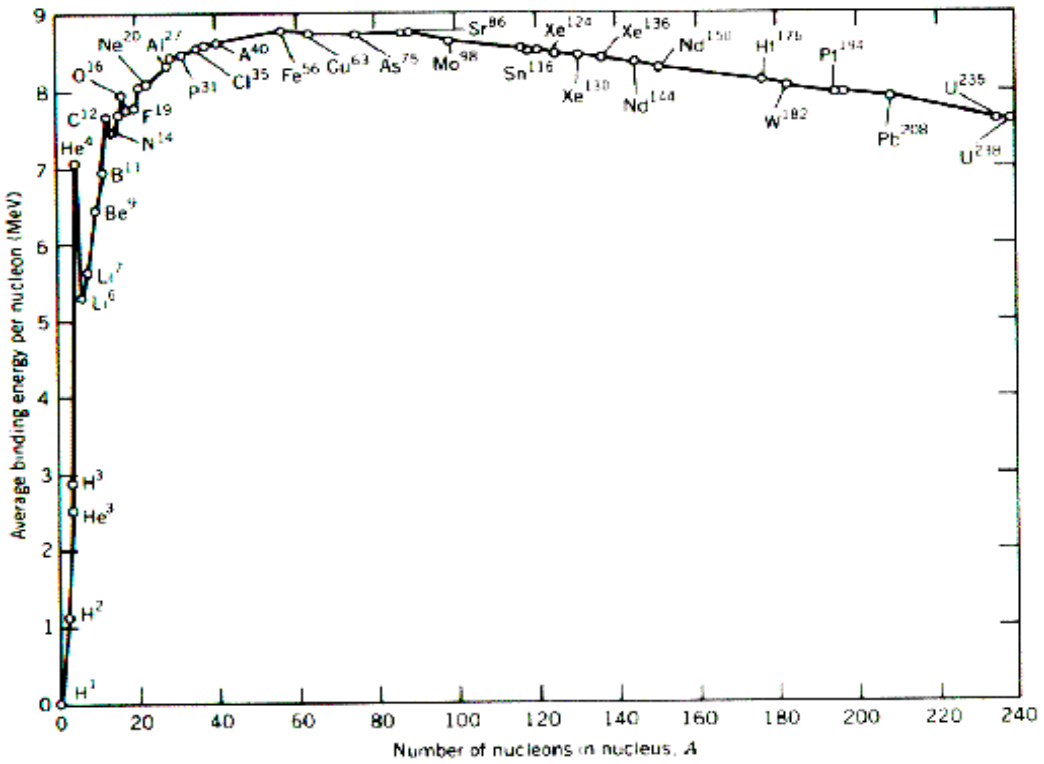
- كتلة النواة الفعلية هي: $M_{eff}(^{12}C) = 11.996706\ u$

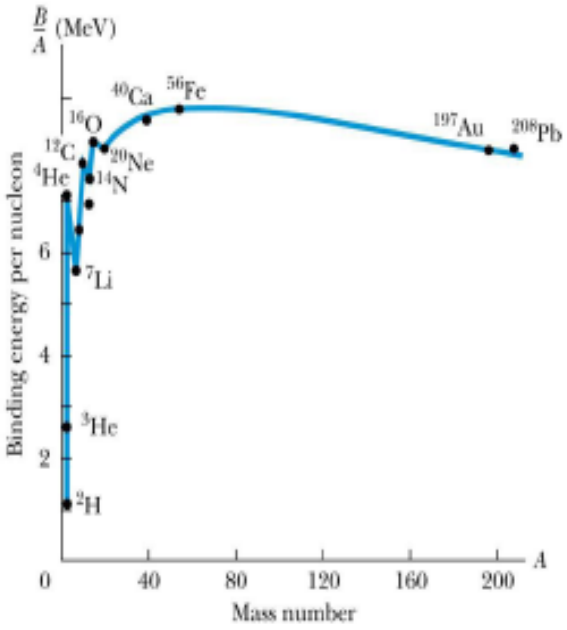
- الفرق بين كتلة النواة ومجموع كتل مكونات النواة: $\Delta m = 0.09894\ u$

- مقدار الطاقة الرابطة: $E = \Delta m\ (u) \times 931.5 = \Delta\ m\ (u)\ C^2$

- طاقة الربط لكل نيوكلون : $B.E./A = 92.2\ MeV/12 = 7.68\ MeV$

تزيد قيمة الطاقة الرابطة لكل نيوكلون بزيادة العدد الكتلي (A)، اكبر قيمة لها تكون عند العدد الكتلي 60، ثم تقل بزيادة A وذلك بسبب زيادة عدد البروتونات والنيوترونات أي زيادة قوى التنافر الكهربية التي تعاكس قوى الترابط (الجذب) النووية.





•تزيد قيمة الطاقة الرابطة لكل نيوكلون بزيادة العدد الكتلي (A)، اكبر قيمة لها تكون عند العدد الكتلي 60، ثم تقل بزيادة A وذلك بسبب زيادة عدد البروتونات والنيوترونات أي زيادة قوى التنافر الكهربية التي تعاكس قوى الترابط (الجذب) النووية.

أمثلة

مثال ١ احسب طاقة الترابط لنواة نظير الهيليوم المكونة من بروتون واحد ونيوترون واحد. حيث أنه تتحرر قدرة بوحدات الكتلة الذرية تساوي ٠,٠٢٥٤٧ .

Mass deficiency = نقص الكتلة داخل النواة

$= 1 \times 1.008665 + 1 \times 1.007277 - 2.013547$

(1.008665 ← نيوترون، 1.007277 ← بروتون، 2.013547 ← نواة)

$= 2.395 \times 10^{-3}$ amu

$\therefore$ B.E. $= 2.395 \times 10^{-3} \times 931 = 2.229745$ MeV

وبقسمة ناتج كل جسيم من هذه الطاقة بمعدل (مقدار B.E. مقسوماً على عدد الجسيمات المكونة للنواة) وهو مرهنة بحالة ج .

$\therefore$ B.E. (nucleon) $= 1.1148725$ MeV

(nucleon ← تقصد به البروتون أو النيوترون)

يلاحظ أن النواة لأي نظير أو عنصر تزداد ثباتاً كلما زاد مقدار الترابط بين مكونات النواة أي إزدار مقدار طاقة الترابط لكل جسيم من جسيمات النواة والعكس صحيح.

ملاحظة طاقة الترابط النووي الكلية هي مقدار الطاقة التي ينطلق عند دمج مكونات النواة معاً لتكوين نواة العنصر وهي تقيس مقدار الطاقة اللازم لتفكيك النواة إلى مكوناتها الأصلية ليصبح كل منها حراً .

مثال ٢ احسب كتلة الإلكترون بدلالة وحدة الكتلة الذرية وبوحدة MeV .

$\therefore$ كتلة الإلكترون $= ٩,١ \times ١٠^{-٢١}$ كجم

ووحدة الكتلة الذرية $= ١,٦٠٠٠٠ \times ١٠^{-٢٧}$ كجم

$\therefore$ كتلة الإلكترون $= \left[\frac{٩,١ \times ١٠^{-٢١} \text{ كجم}}{١,٦٠٠٠٠ \times ١٠^{-٢٧} \text{ كجم}}\right] = ٠,٥٤٩٦٨ \times ١٠^{-٤}$ وحدة كتلة ذرية

$= ٠,٥٤٩٦٨ \times ١٠^{-٤} \times ٩٣١ = ٠,٥١١٧٥٤$ مليون إلكترون فولت .

مثال ٣ إذا إفترضنا أن نواة الراديوم-٢٢٦ كروية الشكل . فكم يبلغ نصف قطرها؟

$\therefore R = 1.2 A^{\frac{1}{3}} \rightarrow R = 1.2 (226)^{\frac{1}{3}} = 7.31 \times 10^{-15}$ m

$= 7.31$ Fm

وتسمى وحدة قياس الأبعاد النووية بـ فيرمي Fermi وهي تساوي $١٠^{-١٥}$ متر.

طاقات الربط

عندما تجتمع الجسيمات النووية مع بعضها في النواة، ترتبط مع بعضها بفعل القوة النووية. يحتاج الأمر كمية من الطاقة لنزع الجسيم النووي من النواة (طاقة الربط الخاصة به) (وهي تماثل طاقة تأيين الإلكترون في الذرة). أما الطاقة المطلوبة لفصل كل مكونات النواة عن بعضها فهي طاقة الربط الكلية للنواة (B.E.). إذا كان عدد الجسيمات النووية المكونة للنواة A، تكون الطاقة الوسيطة اللازمة لنزع أحد الجسيمات النووية (B.E.)/A وهي طاقة الربط للجسيم. عندما نرغب بنزع كل الجسيمات النووية، علينا أن نزود كل جسيم نووي بهذه الكمية من الطاقة. عندما نأتي بجسيمات نووية منفصلة ونكوّن نواة يتحرر من الطاقة ما يساوي هذه الكمية لكل جسيم نووي. يعني ذلك أن طاقة الربط الكلية B.E. تساوي الطاقة التي تتحرر عندما نشكل نواة بدءاً من جسيمات نووية منفردة. كلما كانت طاقة الربط أكبر، تحررت كمية من الطاقة أكبر عند تكوين النواة. إذا اعتبرنا أن طاقة كل جسيم نووي منفرد تطابق الصفر، تغدو إذ ذاك طاقة النواة المرتبطة سالبة القيمة وتساوي طاقة الربط الكلية بالقيمة المطلقة.

تعلمنا في فصل النسبية أن الطاقة تكافىء الكتلة. إذا فقدت الطاقة، يعني ذلك فقدان كتلة مكافئة. تساوي كمية الكتلة المفقودة Δm، كمية الطاقة المفقودة ΔE مقسومة على c^2 ذلك أن $E = mc^2$. نتوقع تبعاً لذلك أننا إذا جمعنا بروتوناً ونيوتروناً لتكوين ديوتيرون فإن كتلة الديوتيرون تكون أقل من مجموع كتلتي البروتون والنيوترون المنفردين. يصح هذا الأمر لكل نواة أخرى حيث تقل كتلتها عن مجموع كتل مكوناتها. تدعى الكتلة المفقودة: «نقص الكتلة» وتساوي $(B.E.)/c^2$. إذا قسنا كتلة النواة، يمكننا حساب نقص الكتلة بمقارنة هذه الكتلة بمجموع كتل مكوناتها. نحصل بذلك على طاقة الربط للنواة. بفرض أن m_X هي الكتلة الذرية للذرة ${}_Z X^A$ و m_H كتلة ذرة الهيدروجين (بروتون وإلكترون) يكون لدينا:

$$\Delta m = Z(m_H) + (A - Z)(m_n) - m_X \qquad \text{لذرة } {}_Z X^A \qquad (\text{أ } 13.18)$$

لنلاحظ أننا إذا ضمنّا كتلة إلكترون في m_H يصبح لدينا Z كتلة إلكترون و Z كتلة بروتون في الحد الأول من الطرف الأيمن للمعادلة. نظراً لأن m_X كتلة ذرية فإنها تحتوي Z من الإلكترونات فيها وعندما نطرح m_X يبقى الفرق في الكتلة بين الجسيمات النووية (Z بروتون و $(A - Z)$ نيوترون وكتلة النواة المجردة). [نهمل هنا فرق الكتلة الضئيل المعزو إلى طاقات الربط الصغيرة للإلكترونات].

$$\text{B.E.} = \Delta m(c^2) \qquad (\text{ب } 13.18)$$

نستطيع قياس طاقة الربط بشكل منفصل عن طريق التجربة بتحديد كمية الطاقة اللازمة لفصل الجسيمات النووية عن بعضها في النواة. إذا قمنا بهذه التجربة، نحصل على تطابق ممتاز.

المسألة 14.18. تساوي الكتلة الذرية للنيوترون 1.0086649 u، والكتلة الذرية للهيدروجين ${}_1H^1$ (بروتون وإلكترون) 1.0078250 u. احسب نقص الكتلة للذرات التالية ذات الكتل المبينة.

(أ) ${}_1H^2$، بكتلة 2.014102 u.

(ب) ${}_2He^3$، بكتلة 3.016029 u.

(ج) ${}_2He^4$، بكتلة 4.002603 u.

(د) ${}_6C^{12}$، بكتلة 12.00000 u.

(هـ) ${}_{26}Fe^{57}$، بكتلة 56.935396 u.

(و) ${}_{92}U^{238}$، بكتلة 238.050786 u.

الحل

(أ) نحصل على نقص الكتلة Δm بجمع كتل كل المكونات وطرح كتلة النواة بعد ذلك. من أجل ${}_1H^2$ يساوي المجموع
$1(m_n) + 1(m_H) = 1.0086649 + 1.0078250 = 2.0164899$. هكذا يكون نقص الكتلة
$2.0164899 - 2.014102 = 0.002388$ u.

(ب) نطبق نفس طريقة الجزء (أ) فنحصل على $\Delta m = 1(1.0086649) + 2(1.0078250) - 3.016029 = 0.008286$ u

(ج) من جديد، $\Delta m = 2(1.0086649) + 2(1.0078250) - 4.002603 = 0.030377$ u

(د) $\Delta m = 6(1.0086649) + 6(1.0078250) - 12.000000 = 0.098939$ u

(هـ) $\Delta m = 31(1.0086649) + 26(1.0078250) - 56.935396 = 0.536666$ u

(و) $\Delta m = 146(1.0086649) + 92(1.0078250) - 238.050786 = 1.934189$ u

المسألة 15.18. عيّن الطاقة الرابطة للجسيم النووي مقدرة بالإلكترون فلط للحالات المختلفة في المسألة 14.18.

الحل

(أ) تساوي الطاقة الرابطة بالجول $(\Delta m)c^2$ حيث Δm بالكيلوغرام. بفرض أن $\Delta m = 1$ u، تكون الطاقة الرابطة $(1.661 \times 10^{-27}\ \text{kg})(9.0 \times 10^{16}\ \text{m}^2/\text{s}^2) = (1.493 \times 10^{-10}\ \text{J})/1.602 \times 10^{-19}\ \text{eV} = 932$ MeV (استخدمنا قيم أدق لكل من c^2 و J/eV مقارنة مع ما فعلناه سابقاً). هكذا يكون التحويل من كتلة مقدرة بالوحدة u إلى MeV: 932. كان نقص الكتلة للذرة $_1H^2$: 0.002388 u وهذا يقابل طاقة رابطة قدرها $(0.002388\ \text{u})(932\ \text{MeV/u}) = 2.226$ MeV. نظراً لوجود جسيمين نويين في هذه النواة، تكافىء الطاقة الرابطة للجسيم النووي 1.11 MeV.

(ب) هنا يساوي نقص الكتلة 0.008286 u، وهو يعطي الطاقة الرابطة $932(0.008286) = 7.72$ MeV، والطاقة الرابطة للجسيم النووي $7.72/3 = 2.57$ MeV.

(ج) هنا يساوي نقص الكتلة 0.030377 u، وهو يعطي الطاقة الرابطة $932(0.030377) = 28.1$ MeV، والطاقة الرابطة للجسيم النووي $28.31/4 = 7.07$ MeV.

(د) هنا يساوي نقص الكتلة 0.098939 u، وهو يعطي الطاقة الرابطة $932(0.098939) = 92.21$ MeV، والطاقة الرابطة للجسيم النووي $92.21/12 = 7.68$ MeV.

(هـ) هنا يساوي نقص الكتلة 0.536666 u، وهو يعطي الطاقة الرابطة $932(0.0536666) = 500.02$ MeV، والطاقة الرابطة للجسيم النووي $500.02/57 = 8.77$ MeV.

(و) هنا يساوي نقص الكتلة 1.934195 u، وهو يعطي الطاقة الرابطة $932(1.934189) = 1802.66$ MeV، والطاقة الرابطة للجسيم النووي $1802.66/238 = 7.57$ MeV.

المسألة 16.18. إن الطاقة الرابطة للجسيم النووي في الذرة $_{82}Pb^{208}$ هي 7.93 MeV للجسيم النووي. ما هي الكتلة الذرية لهذه الذرة.

الحل

تساوي الطاقة الرابطة الكلية للذرة $208(7.93) = 1649.44$ MeV. يعني ذلك نقصاً بالكتلة يكافىء $1649.44/932 = 1.76979$ u. باستخدام المعادلة (13.18 أ) نخلص إلى كتلة الرصاص

$$m = 126(1.0086640) + 82(1.0078250) - 1.76979 = 207.964\ \text{u}.$$

المسألة 17.18. استخدم المعلومات المعطاة في المسألة 14.18 للنظير $_1H^2$. احسب انطلاقاً من اعتبارات الطاقة التواتر الأصغري للفوتون الضروري لتفريق النيوترون عن البروتون. تدعى هذه العملية التحلل الضوئي.

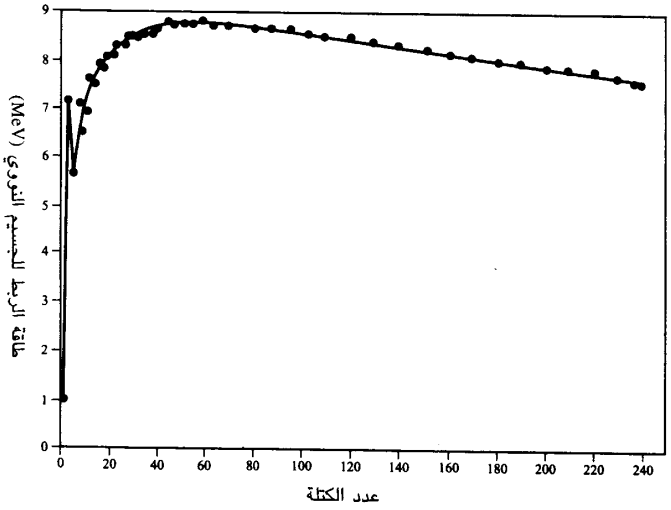
الحل

تساوي الطاقة الضرورية لتفريق هذه النواة طاقة الربط الخاصة بها. نحسب طاقة الربط [المسألة 16.18 (أ)] على أنها 2.23 MeV. يعني ذلك أن الطاقة الأصغرية للفوتون تكافىء 2.23 MeV. (كي تنحفظ كمية الحركة أيضاً، يجب أن تزيد الطاقة قليلاً عن هذه القيمة). إن الفوتون ذا الطاقة 2.23 MeV له تواتر يعادل

$$f = E/h = (2.23 \times 10^6\ \text{eV})(1.6 \times 10^{-19}\ \text{J/eV})/(6.625 \times 10^{-34}\ \text{J . s}) = 5.39 \times 10^{20}\ \text{Hz}.$$

أوضحت المسائل السابقة الطريقة التي يُمكن أن نحصل بواسطتها على معلومات تكشف عن قوة ارتباط الجسيمات النووية داخل النواة. إن كانت الطاقة الرابطة كبيرة، فلا شك أن طاقة كبيرة قد تحررت عند تكوين النواة وأدى ذلك إلى ارتباط شديد للجسيمات

النووية. على العكس، إذا كانت الطاقة الرابطة صغيرة، تكون الجسيمات النووية هشة الارتباط. يُمكن أن تحول النواة إلى نواة أخرى بطاقة ربط أكبر بما يعني تحرير المزيد من الطاقة. كي نبحث هذه الإمكانية من المفيد أن نوقع الطاقة الرابطة للجسيم النووي بدلالة A وأن نحلل النتيجة. يعطي الشكل 18-16 مخطط (B.E.)/A بدلالة A. نلاحظ وجود قيمة أعظمية لِـ (B.E.)/A تساوي 8.77 MeV للجسيم النووي تتحقق من أجل Fe^{57}. تضم هذه النواة الخاصة جسيمات نووية مربوطة إلى بعضها بشدة لا يضاهيها ارتباط الجسيمات في أية نواة أخرى. إن كان على الجسيمات النووية في النوى الأخرى أن تعيد تنظيم نفسها للتحول إلى Fe^{57} فلا بد أن تطلق المزيد من الطاقة إلى أن تزيد طاقة الربط حتى 8.77 MeV للجسيم النووي. يُمكن لهذا أن يحدث إذا اندمجت العناصر الخفيفة مع بعضها ($A < 57$) لتشكيل نوى بقيم أكبر لِـ A عبر عملية تعرف بالاندماج. إن هذا هو مصدر طاقة الشمس والنجوم الأخرى وكذلك القنبلة الهيدروجينية. يأمل الباحثون أن تكون هناك إمكانية في المستقبل لاستخدام هذا المصدر على الأرض ضمن سياق منضبط بدمج ذرات الهيدروجين لتشكيل ذرات الهليوم ذات طاقة الربط الأكبر. نستطيع تحرير الطاقة أيضاً بتحويل النوى الثقيلة (مثل الأورانيوم) إلى نوى أخف تمتلك قيماً أكبر للنسبة (B.E.)/A با يؤدي إلى تحرير الطاقة. تدعى هذه العملية الانشطار وهي مصدر الطاقة في المفاعلات النووية والقنابل الذرية.



الشكل 18-16

المسألة 18.18. تمتلك الذرة $_2He^4$ طاقة رابطة للجسيم النووي تساوي 7.0 MeV/A، بينما الطاقة المقابلة في الذرة H^2، (الديوتيريوم) هي 1.11 MeV/A. إذا دمجنا ذرتي ديوتيريوم لتشكيل ذرة He^4، كم تبلغ كمية الطاقة المحررة.

الحل

قبل الاندماج كانت طاقة الربط الكلية 2.22 MeV = 2(1.1). تغدو طاقة الربط بعد الاندماج 28 MeV = 4(7.0). يعني ذلك أن طاقة إضافية قدرها 25.8 MeV ≈ (2.22 − 28) قد تحررت أثناء الاندماج.

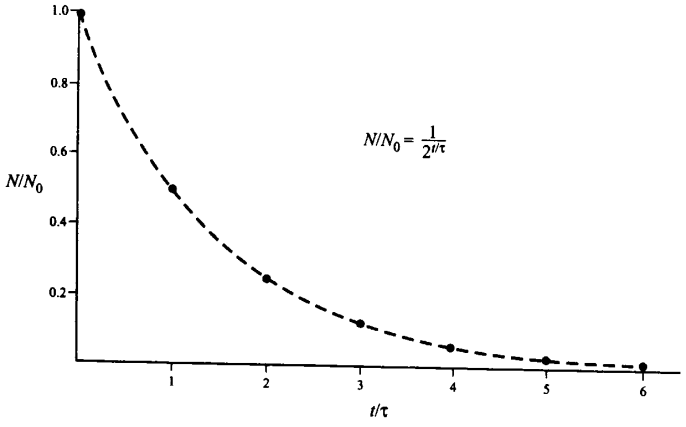
النشاط الإشعاعي

بحثنا حتى الآن خصائص النوى المستقرة. توجد أعداد من النوى، بعضها ذات منشأ طبيعي، تتسم بعدم الاستقرار. إنها تتحول إلى نوى أخرى عبر مراحل محددة. نشرح في هذه الفقرة الميزات العامة للتحلل الإشعاعي، كما نتطرق في الفقرة التالية إلى خصائص أنواع معينة من التحلل.

يتسم كل تحلل نووي خاص بنصف حياة τ. إنه الزمن المتوسط اللازم لتحلل نصف النوى. على الرغم من أن أحداً لا يدري أي

شيء عن الذرة التي تجنح نواتها إلى التحلل في لحظة معينة فإن ما يبقى من النوى دون تحلل بعد مضي الفترة τ هو نصف عددها الأصلي N_0، أي $N_0/2$. إذا انتظر الباحث لفترة إضافية τ، تتحلل نصف النوى المتبقية ويتخلف منها دون تحلل $(N_0/2)/2 = N_0/2^2$. بعد فترة أخرى τ يبقى من النوى $N_0/2^3$. بصورة عامة، يبقى من النوى $N_0/2^m$ بعد مضي فترة قدرها $m\tau$، يتضح في الشكل 17-18 ويتبين أن النسبة N/N_0 تتناقص تناقصاً أسياً وفق $2^{-(t/\tau)}$. نتحول إلى الأس الطبيعي e، فنحصل على:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad \text{حيث} \quad \lambda = (\ln 2)/\tau. \tag{4.18}$$



الشكل 17-18

إنه تحلل أسي، يساوي ثابت التحلل فيه λ. إن هناك طريقة أساسية أخرى للوصول إلى نفس هذه المعادلة. نفرض أن عدد الجسيمات التي تتحلل في غضون فترة قصيرة Δt (قصيرة بالمقارنة مع نصف الحياة) يتناسب مع عدد الجسيمات الموجودة في تلك الفترة. نستطيع إذ ذاك أن نكتب

$$\Delta N/\Delta t = -\lambda N \tag{15.18}$$

حيث λ ثابت موجب. أما الإشارة السالبة فتعني أن N يتناقص. نستطيع حل هذه المعادلة بتطبيق طرائق التحليل الرياضي. أما النتيجة فهي المعادلة (14.18). تمثل الكمية $|\Delta N/\Delta t|$ عدد أحداث التحلل في الثانية عند أية لحظة. تدعى هذه الكمية فعالية المادة ذات النشاط الإشعاعي وتقاس بوحدة البيكريل (Bq) التي تساوي تحللاً واحداً في الثانية. إن هناك وحدة أكثر شيوعاً للفعالية هي الكوري (Ci) وتساوي 3.70×10^{10} Bq.

المسألة 19.18. يساوي ثابت التحلل لإحدى المواد $4.2 \times 10^3\ s^{-1}$. يبدأ التحلل بوجود 3.0×10^7 ذرة.

(أ) ما هو نصف الحياة لهذه المادة؟

(ب) ما هي الفعالية الابتدائية للمادة؟

(ج) كم يبقى من الذرات بعد مضي 1.2×10^{-3} s؟

(د) ما هي فعالية العينة بعد مضي 1.2×10^{-3} s؟

الحل

(أ) نجد باستخدام المعادلة (14.18) أن $\tau = (\ln 2)/\lambda = 0.693/4.2 \times 10^3 = 1.65 \times 10^{-4}$ s

(ب) نطبق المعادلة (15.18)، $\Delta N/\Delta t = -\lambda N$، فنحصل على الفعالية

$$|\Delta N/\Delta t| = 4.2 \times 10^3 (3.0 \times 10^7) = 1.26 \times 10^{11}\ \text{Bq} = 3.4\ \text{Ci}$$

(ج) نستخدم المعادلة (14.18)، $N = N_0 e^{-\lambda t}$، فنجد أن

$$N = 3.0 \times 10^7 \exp(-4.2 \times 10^3 \times 1.2 \times 10^{-3}) = 3.0 \times 10^7 \exp(-5.04) = 1.94 \times 10^5 \text{ atoms}$$

(د) نطبق المعادلة (15.18) $\Delta N/\Delta t = -\lambda N$، فنحصل على الفعالية

$$|\Delta N/\Delta t| = 4.2 \times 10^3 (1.94 \times 10^5) = 8.16 \times 10^8 \text{ Bq} = 0.022 \text{ Ci}$$

المسألة 20.18. يوجد في إحدى العينات 5.6×10^8 من الجسيمات يبقى منها بعد 25 s، 0.70×10^8 جسيماً. ما هو نصف حياة هذا التحلل.

الحل

نحسب أولاً $N/N_0 = 0.70 \times 10^8/5.6 \times 10^8 = 1/8$. توجد طريقتان الآن لمتابعة حل المسألة. نلاحظ أولاً أن $1/8 = 1/2^3$. يعني ذلك أن ثلاثة أنصاف حياة قد مضت. إذن $3\tau = 25$، بالتالي $\tau = 25/3 = 8.33$ s. توظف الطريقة الثانية المعادلة (14.18)، $N/N_0 = e^{-\lambda t}$، $0.125 = e^{-\lambda t}$، $\ln(0.125) = -\lambda t = -2.079$، $\tau = 2.079/25 = 0.832 = (\ln 2)/\tau$، $\tau = 8.33$ s.

المسألة 21.18. تحوي عينة 6.4×10^7 من الجسيمات. يساوي نصف الحياة 3.5 s.

(أ) كم يبلغ ثابت التحلل في هذا التحلل.

(ب) بعد أية فترة من الزمن يبقى من الجسيمات ما يساوي 1.3×10^7 جسيماً.

(ج) ما هي الفعالية بعد مضي 10 s.

الحل

(أ) نعرف أن $\lambda = (\ln 2)/\tau$. إذن $\lambda = 0.693/3.5 = 0.198 \text{ s}^{-1}$.

(ب) نستخدم المعادلة (14.18)، $N = N_0 e^{-\lambda t}$، فنحصل على $N = 1.3 \times 10^7 = 6.4 \times 10^7 \exp(-0.198t)$. بالتالي

$$\exp(-0.198t) = 0.203, \quad \ln(0.203) = -1.59 = -0.198t, \quad t = 8.05 \text{ s}.$$

(ج) الفعالية $|\Delta N/\Delta t| = +\lambda N$. نحسب أولاً $N = N_0 \exp(-\lambda t) = 6.4 \times 10^7 \exp(-0.198 \times 10) = 8.84 \times 10^6$. إذن

$$|\Delta N/\Delta t| = 0.198(8.84 \times 10^7) = 1.75 \times 10^6 \text{ Bq} = 4.73 \times 10^{-5} \text{ Ci} = 47.3 \ \mu\text{Ci}$$

يفيد العلماء من النشاط الإشعاعي الطبيعي في التأريخ للعينات الجيولوجية أو الآثارية. إذا فرضنا أننا نعرف التركيب الابتدائي للمادة بدلالة النوى الموجودة، وكانت بعض النوى مشعة، نستطيع تقدير عمر العينة بتحديد تركيبها في الوقت الحاضر. يُعطى العمر بالمعادلة $N/N_0 = \exp(-\lambda t)$، أو $t = \ln(N_0/N)/\lambda$. لسوء الحظ، إننا لا نعرف N_0 على وجه التحديد. تبين المسألة التالية ما الذي نستطيع أن نفعله.

المسألة 22.18. إن نظير الفحم C^{14} مشع ويساوي نصف حياته 5730 سنة، أما C^{12} فهو مستقر. كانت نسبة C^{12} إلى C^{14} في البداية 8.3×10^{11}. زادت النسبة بعد مضي الفترة t فغدت 9.1×10^{12}. حدّد هذه الفترة t.

الحل

نفرض أن N_{12} هو عدد النوى C^{12} التي كانت موجودة في الأصل. بما أن هذا النظير مستقر، يبقى نفس عدد النوى بعد مضي الفترة t. نستخدم نسبتي C^{12} إلى C^{14} للحظتي البداية والنهاية، فنجد أن العدد الابتدائي N_0 للنوى C^{14} كان $N_{12}/8.3 \times 10^{11}$، وأن العدد النهائي N للنوى C^{14} الموجودة هو $N_{12}/9.1 \times 10^{12}$. إذن

$$N/N_0 = (8.3 \times 10^{11})/(9.1 \times 10^{12}) = 0.0912.$$

لكن لدينا أن $N/N_0 = \exp(-\lambda t)$. أيضاً

$$\lambda = 0.693/\tau = 0.693/5730 \text{ y} = 1.210 \times 10^{-4} \text{y}^{-1}.$$

بالتالي

$$\ln(0.0912) = \lambda t \rightarrow -2.39 = -1.21 \times 10^{-4} t \quad \text{أو} \quad t = 19{,}790 \text{ y}$$

تفسح هذه الطريقة المجال لتحديد تاريخ المواد العضوية على أساس الافتراضات التالية. (1) بقيت النسبة C^{12}/C^{14} ثابتة في الغلاف الجوي على مدى التاريخ الجيولوجي. (2) عندما تنمو المادة العضوية وتمتص الفحم، تساوي النسبة الممتصة نفس النسبة المتواجدة في البحر أو الهواء. (3) عندما تموت المادة العضوية (شجرة مثلاً) يتوقف إصدار وامتصاص الفحم بشكل كيميائي ويبقى المصدر الوحيد

- انبعاث جسيمات ألفا:

Alpha decay $\quad {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

$$ {}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He + Q $$

- Q (MeV)- طاقة التفكك = $[M_X - (M_Y+M_\alpha)](u) * 931.5$

- انبعاث جسيمات بيتا سالبة:

$N \rightarrow P + B^-$ (بيتا سالبة) + $\bar{\nu}$ (ضد النيوترينو)

Beta decay (e^-) $\quad {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + e^- + \bar{\nu}$

$$ {}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + B^- + \bar{\upsilon} $$

Q (MeV)- طاقة التفكك $=[M_X-(M_Y+M_e)](u)*931.5$

- انبعاث جسيمات بيتا موجبة:

$P \rightarrow N + B^+$ (بيتا موجبة) + ν (النيوترينو)

Beta decay (e^+) $\quad {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}\mathrm{Y} + e^+ + \nu$

$$ {}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + B^+ + \upsilon $$

Q (MeV)- طاقة التفكك $=[M_X-(M_Y+M_e)](u)*931.5$

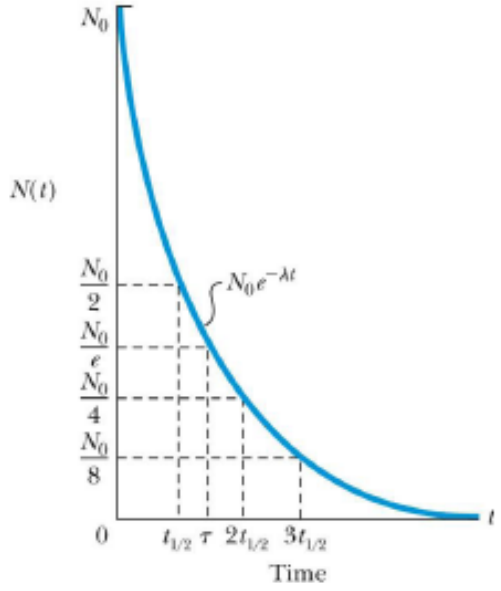
- انبعاث اشعة جاما:

بعد التفكك الإشعاعي وانبعاث جسيمات ألفا أو بيتا، قد تحتوي النواة الناتجة من التفكك على طاقة زائدة تكون النواة ة في حالة أثارة. لكي تستقر تتخلص النواة من الطاقة الزائدة بانبعاث أشعة جاما وهي موجات كهرومغناطيسية.

Gamma decay $\quad {}^{A}_{Z}\mathrm{X}^* \rightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + \gamma$

10-14 عمر النصف الفيزيائي: $T_{1/2}$

- الزمن اللازم لتفكك نصف عدد النوى المشعة



$$ \frac{N_o}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} $$

$$ \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} $$

$$ 2 = e^{\lambda T_{1/2}} $$

$$ \ln 2 = \lambda T_{1/2} \Rightarrow 0.693 = \lambda T_{1/2} $$

$$ T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} $$

مسائل في الفيزياء النووية حول الإضمحلال الإشعاعي

١ إذا كانت الفعالية الإشعاعية لواحد ميلي جرام (1mg) من نظير الراديوم ^{226}Ra تقدر بـ 3.69×10^{7} إضمحلال في الثانية. فما هي فترة عمر النصف وثابت الإضمحلال لهذا العنصر المشع؟

الحل نبدأ بحساب عدد الذرات الموجودة في العينة باستخدام العلاقة

$$n = \frac{m \times N_A}{A} =$$ عدد الذرات

m الكتلة بالجرام
N_A عدد أفوجادرو
A الوزن الذري

$$\therefore n = \frac{10^{-3} \times 6.023 \times 10^{23}}{226} = 2.66\times10^{18} \text{ nuclei}$$

* وحيث أن الفعالية الإشعاعية = عدد الذرات × ثابت الإضمحلال

A n λ

$$\therefore A = \lambda n \longrightarrow \lambda = \frac{A}{n} = \frac{3.69\times10^{7}}{2.66\times10^{18}} = 1.387\times10^{-11} \text{ Sec}^{-1}$$

* ونبدأ حساب فترة عمر النصف $T_{\frac{1}{2}}$ باستخدام العلاقة

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\therefore T_{1/2} = \frac{0.693}{1.387\times10^{-11}} = 4.997\times10^{10} \text{ sec}$$

$$= \frac{4.997\times10^{10}}{60\times60\times24\times365.25} = 1583.4 \text{ year.}$$

365.25 ← متوسط عدد أيام السنة

[٢] احسب كتلة عينة من نظير الكوبالت 60 ($^{60}_{27}Co$)، كانت كفاءتها الإشعاعية عند التحضير كوري واحد. فترة عمر النصف لـ $^{60}_{27}Co$ تساوي 5.27 سنة.

الحل

∵ الكفاءة الإشعاعية (A) = عدد الأنوية × ثابت الاضمحلال

ونرمز لكفاءة الإشعاعية عند التحضير (لزمن يساوي صفر) بالرمز A_0

$$\therefore A_0 = \lambda N_0 = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} N_0$$

$$1 \times 3.7 \times 10^{10} = \frac{0.693}{5.27 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365.25} \times N_0$$

$$\therefore N_0 = \frac{3.7 \times 10^{10}}{4.167 \times 10^{-9}} = 8.88 \times 10^{18} \text{ nuclei}$$

$$N_0 = \frac{m \times N_A}{A} =$$

$$\therefore m = \frac{N_0 \times A}{N_A} = \frac{8.88 \times 10^{18} \times 60}{6.023 \times 10^{23}} = 8.846 \times 10^{-4} \text{ gm}$$

$$\simeq 0.88 \text{ mg}.$$

٢) عينة من الكوبالت-60 (^{60}Co) وزنها عند التحضير 1mg . إحسب ثابت الإضمحلال (التفكك) والكفاءة الإشعاعية بوحدة الكوري والبكريل إذا كانت فترة عمر النصف تساوي 5.27 year ، احسب الكفاءة الإشعاعية بعد مرور عشر سنوات من تحضير العينة .

الحل

* ثابت الإضمحلال (λ) يتم حسابه بـ sec^{-1} ولذلك نقوم بتحويل فترة عمر النصف من وحدة السنة إلى الثانية

$$T_{1/2} = 5.27 \times 365.25 \times 24 \times 60 \times 60$$

$$= 1.66 \times 10^{8} \text{ sec}$$

$$\because \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{1.66 \times 10^{8}} = 4.17 \times 10^{-9} \text{ sec}^{-1}$$

* الكفاءة الإشعاعية عند تحضير العينة A_0

$$\because A_0 = \lambda N_0 = \lambda \times \frac{m \times N_A}{A}$$

(A الوزن الذري)

$$= 4.17 \times 10^{-9} \times \frac{1 \times 10^{-3} \times 6.023 \times 10^{23}}{60}$$

$$= 4.185985 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$= 1.13 \text{ Ci} \quad \leftarrow \quad 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

* بعد إنقضاء عشرة سنوات من تحضير العينة ، يتناقص عدد الأنوية المشعة فيكون طبقاً للمعادلة $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ←

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

$$\therefore A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\therefore A = 1.13 \, e^{-\frac{0.693}{5.27} \times 10}$$

$$= 0.3 \text{ Ci}$$

ملاحظة : بدلاً من تحويل فترة عمر النصف والفترة المنقضية عند التحضير من سنة إلى ثانية ، وبالتالي وجود عوامل مشتركة فيما بسط والمقام لأس e . نستخدم السنة مباشرة لكل من t و $T_{1/2}$.

٤) عينة من خام البوتاسيوم ذات كتلة 46.3 mg ونشاط إشعاعي يقدر بـ 1.5 Bq، فإذا كان مصدر إشعاع β للعينة هو نظير البوتاسيوم ^{40}K.
ونسبته في العينة 0.012 % . أحسب فترة عمر النصف للبوتاسيوم-٤٠.

الحل

لحساب فترة عمر النصف، لابد من معرفة عدد الأنوية الخاصة بالعينة.
وحيث أن نسبة وجود البوتاسيوم ٤٠ في العينة يساوي 0.012% بالنسبة لكتلة
هذا النظير تساوي

$$m_{^{40}K} = \frac{0.012}{100} \times 46.3 \times 10^{-3} = 5.556 \times 10^{-6} \text{ gm}$$

∴ عدد أنوية البوتاسيوم ٤٠ في العينة

$$N = \frac{5.556 \times 10^{-6} \times 6.023 \times 10^{23}}{40}$$

$$= 8.36 \times 10^{16} \text{ nuclei}$$

* بإستخدام الكفاءة، إشعاعية وعدد الأنوية، يمكن حساب ثابت الإضمحلال
ومنه فترة عمر النصف.

$$\because A = \lambda N \rightarrow 1.5 = \lambda \times 8.36 \times 10^{16}$$

$$\therefore \lambda = 1.79 \times 10^{-17} \text{ sec}^{-1}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{1.79 \times 10^{-17}} = 3.87 \times 10^{16} \text{ sec}$$

$$= 1.226 \times 10^{9} \text{ year} *$$

٥ احسب كتلة نظير السترانشيوم ^{90}Sr ذات نشاط إشعاعي مقداره جرام واحد من نظير الكوبالت (٦٠) علماً بأنه

$T_{1/2}|_{Cobalt} = 5.27$ year

$T_{1/2}|_{Sr} = 28.1$ year.

الحل عدد الذرات في جرام واحد من الكوبالت

$$N_o = \frac{1 \times 6.023 \times 10^{23}}{60} = 1.00 \times 10^{22} \text{ nuclei}$$

وبالتالي فإن النشاط الإشعاعي لهذه العينة

$$A_o = \lambda N_o = \frac{0.693}{5.27 \times 365.25 \times 24 \times 60 \times 60} \times 1 \times 10^{22}$$

$$= 4.167 \times 10^{13} \text{ Bq}$$

$$= 1.126 \times 10^{3} \text{ Ci}$$

وحيث أن النشاط الإشعاعي للنظيرين متساوية $A_{Co} = A_{Sr}$

$$\therefore \lambda_{Co} N_{Co} = \lambda_{Sr} N_{Sr}$$

$$\therefore N_{Sr} = \frac{A_{Co}}{\lambda_{Sr}} = \frac{4.167 \times 10^{13}}{0.693/(28.1 \times 365.25 \times 24 \times 3600)}$$

$$= 5.332 \times 10^{22} \text{ nuclei}$$

$$\because N = \frac{m \times N_A}{A} \rightarrow m = \frac{N \times A}{N_A}$$

$$\therefore m = \frac{5.332 \times 10^{22} \times 90}{6.023 \times 10^{23}}$$

$$= 7.967 \text{ gm}$$

٦ احسب حجم وكتلة الرادون-222 المتوازن إشعاعياً مع الراديوم-226

حيث فترة عمر النصف للرادون $T_{\frac{1}{2}}|_{Rn} = 3.825\ day$

" " " للراديوم $T_{\frac{1}{2}}|_{Ra} = 1622\ year$

كثافة الرادون (كغاز) $\rho_{Rn} = 9.37 \times 10^{-3}\ kg/m^3$

الحل لابد أولاً من تحديد نوع التوازن هل هو أبدي أم مؤقت (مرحلي) لأنه ذلك سيحدد الصيغة المعادلة التي سيتم تطبيقها. تتم تحديد نوع التوازن عن طريق (أو مقارنة) فترتي عمر النصف. من الملحوظ أنه $T_{\frac{1}{2}}|_{Ra} \gg T_{\frac{1}{2}}|_{Rn}$

وهذا يدل على أنه التوازن الإشعاعي من النوع الأبدي ولذلك نجد أن

$A_1 = A_2$ للراديوم = للرادون

$$\therefore \lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \rightarrow \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}|_1} N_1 = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}|_2} N_2$$

$$\therefore T_2 N_1 = T_1 N_2$$

$$\therefore T_2 \times \frac{m_1 \times N_A}{A_{226}} = T_1 \frac{m_2 \times N_A}{A_{222}}$$

$$\therefore m_2 = \frac{T_2 \times m_1 \times A_{222}}{T_1 \times A_{226}} = \frac{3.825 \times 1 \times 222}{1622 \times 365.25 \times 226}$$

$$= 6.342 \times 10^{-6}\ gm \leftarrow \text{كتلة الرادون}$$

وحيث أن الكتلة = الحجم × الكثافة

$$\rho \times V = m$$

$$\therefore V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{6.342 \times 10^{-6}}{9.37 \times 10^{-3}}$$

$$= 6.768 \times 10^{-4}\ m^3 \ \ \#$$

المراجع

1- مبادئ الفيزياء النووية وتقنيتها, د. بسام محمد داخل, احمد شريف عودة,ا.د.احمد احمد القاضى

2- مبادىء الاشعاعات المؤينة والوقاية منها ا د/ محمد فاروق احمد
ا د/ احمد بن محمد السريع

3- الوقاية الإشعاعية المبادئ والتطبيقات د / مصطفي محمد عبدالمهدي المجالي

4- د. شذى سلمان ،الكشف عن الاشعه النووية جامعة بغداد / سنة النشر 1989 م

5- د. علي عطية عبد الله ، د. شذى سلمان الدريكزلي ، د. مازن مانوئيل الياس / الفيزياء النووية التجريبية / جامعة بغداد ، 1990

6- د. خالد عبيد الأحمد / الفيزياء الصحية / جامعة الموصل / 1993

7- فيزياء الاشعاع قياساته وتطبيقاته العملية, د.محمد شحادة الدغمة, 1998

8- الوقاية من الاشعاعات المؤينة, د. بهاء الدبن حسين معروف, 1989

9- منظمة الصحة العالمية (WHO) - www.who.int/emf

10- اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع الغير مؤين (ICNIRP) - www.icnirp.de

11- الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) – www.iaea.org

13- محاضرات ا .د/ حازم سكيك جامعة الازهر – غزة – فلسطين

https://www.hazemsakeek.net

14- محاضرات ا .د/ صالح محمد متولى

https://sites.google.com/site/nuclearphysics4u/

https://sites.google.com/site/nuclearphysics4u/home/alfsl-althalth-alslasl-alashayte

15-الوكالة الدولية للطاقة الذرية

https://www.iaea.org/ar/almawadie/alnazayir-almushiea

16- ظاهرة النشاط الإشعاعي وقوانين الاضمحلال النووي
https://sites.google.com/site/nuclearphysics4u/home/alfsl-althany-zahrte-alnsht-alashay-wqwanyn-aladmhlal-alnwwy