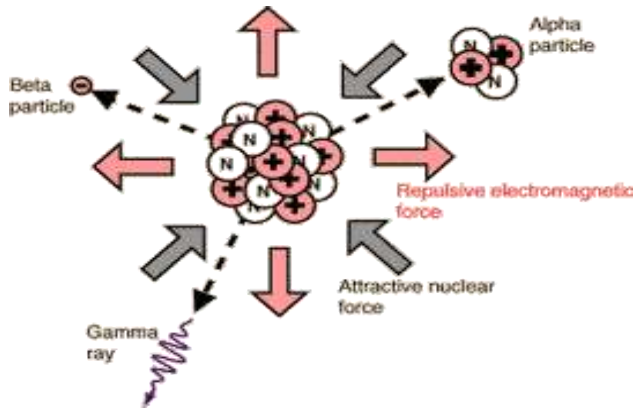
النشاط الاشعاعي والإشعاعات النووية

يعرف التهافت (النشاط) الإشعاعي لعنصر ما بأنه عدد الأنوية التي تتفكك أو تتحلل في الثانية الواحدة لينتج من هذا التحلل انبعاث جسيمات موجبة أو سالبة او إشعاعات كهرومغناطيسية. وتعرف النظائر التي يحدث فيها هذا النوع من التفكك أو الاضمحلال بالنظائر المشعة وتجدر الإشارة إلى أن عملية التفكك تحدث في النظائر سواء كانت في صورة نقية أم تدخل ضمن مركبات كيميائية أو بيولوجية أو غيرها. كما أن عملية التفكك لا تتأثر بالعوامل الفيزيائية والكيميائية مثل الحرارة و البرودة. . . الخ .



الشكل (1.4): نواة عنصر مشع تصدر إشعاعات نووية.

تصنف الجسيمات أو الإشعاعات التي تنطلق من النواة إلى ثلاثة أنواع:

1. أشعة (جسيمات β) وهي عبارة عن جسيمات موجبة او سالبة.
2. أشعة (جسيمات α) وهي عبارة عن أنوية الهليوم الموجبة.
3. أشعة (γ) وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة أعلى (تردد أعلى) من أشعة X.

التحلل الإشعاعي و التفاعلات النووية موصوفة بواسطة الانتقال من نظام ابتدائي (النواة الأم) إلى نظام نهائي (النواة الوليدة) وهي تحدث بإحدى الطريقتين:

طريقة تلقائية: إذا كانت الطاقة الكلية للنواة البنت أقل من الطاقة الكلية للنواة الأم فإن الانتقال يمكن حدوثه تلقائيا.

طريقة صناعية: إذا كانت الطاقة الكلية للنواة الأم أقل من الطاقة الكلية للنواة البنت فإن الانتقال لا يحدث إلا إذا قدمنا طاقة للنواة الأم.

1.4 النشاط الاشعاعي

1.1.4 قانون الانحلال الإشعاعي:

إن أي عينة ماكروسكوبية من نظير مشع تتكون من عدد كبير من الأنوية المشعة. هذه الأنوية لا تشع جميعها في آن واحد بل تشع واحدة تلو الأخرى بفترات زمنية. ان عملية الإشعاع هي عملية عشوائية لا يمكننا التنبؤ متى ستنحل نواة معينة، لكن يمكننا حساب عدد النوى التي ستنحل في فترة زمنية معينة وذلك بالاعتماد على أساس احتمالي.
إن عدد الانحلالات ΔN التي تحدث في فترة زمنية قصيرة Δt تعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \qquad (1.4)$$

حيث: λ ثابت الانحلال الإشعاعي الخاص بالنظير.

كلما كان λ كبير كلما كان معدل الانحلال كبير. أما الإشارة السالبة فتدل على أن N في حالة نقصان ومنه:

وبالتالي يمكن حساب N كما يلي:

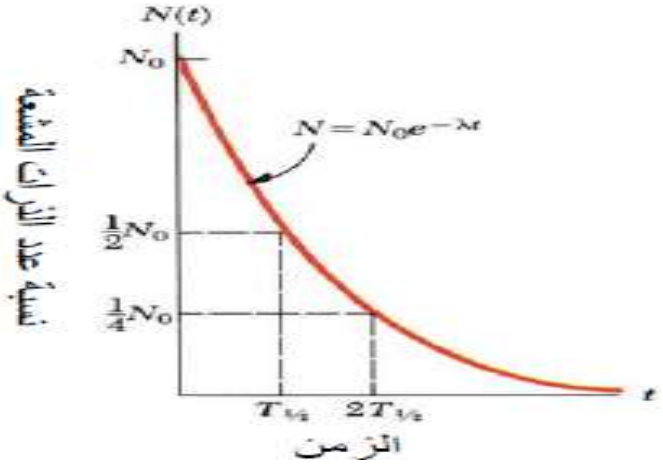
$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \Rightarrow \int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (2.4)$$

حيث: N_0:عدد الأنوية الابتدائية عند $t = 0$.

N: عدد الأنوية المتبقية عند الزمن t.

وتسمى العلاقة (1.4) قانون انحلال النشاط الإشعاعي. ونلاحظ أن عدد الأنوية المشعة لعينة معينة يتناقص أسيا مع الزمن كما هو موضح في الشكل (2.4).



شكل (2.4): تغير عدد ذرات مادة مشعة مع الزمن.

وبما أن كتلة المادة المشعة m(t) متناسبة مع عدد ذراتها N(t) يمكن كتابة القانون (1.4) كما يلي:

$$m(t) = m(0)e^{-\lambda t}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t} \qquad (3.4)$$

1.1.1.4 ثابت التفكك الاشعاعي λ:

يعرف المعامل λ باسم ثابت التفكك الاشعاعي وهو عبارة عن احتمال تفكك نواة واحدة معينة في ثانية واحدة وحدة قياس هذا المعامل هي مقلوب الثانية أي (S^{-1}) حيث انها تعبر عن احتمال تفكك النواة في الثانية، كلما كانت λ كبيرة كلما كان معدل التفكك أكبر.

2.1.1.4 زمن نصف العمر $t_{1/2}$:

الزمن اللازم لتفكك نصف عدد النوى الابتدائي

$$N(t) = \frac{N_0}{2}$$

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

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (4.4)$$

عمر النصف لبعض العناصر:

العمر النصف لبعض العناصر

العنصر	الرمز	عمر النصف
Uranium 235	^{235}U	700000000 سنة
Carbon 14	^{14}C	5730 سنة
Radium226	^{226}Ra	1622 سنة
Cobalt60	^{60}Co	5 سنة
Iodine 131	^{131}I	8 أيام
Sodium 24	^{24}S	15 ساعة
Polonium 212	^{121}Po	1000000/1 ثانية

3.1.1.4 متوسط العمر τ:

إن متوسط العمر لعينة مشعة و هو متوسط الزمن الذي تستغرقه نواة العنصر المشع قبل أن تتفكك أو تضمحل كليا، ويحدد كالأتي:

$$\tau = \left(\frac{1}{N_0}\int_0^{\infty} \lambda N(t) t dt\right) = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{0.693} \qquad (5.4)$$

2.1.4 معدل الانحلال(الشدة الإشعاعية) A(t) :

إن معدل الانحلال هو عدد الانحلالات في وحدة الزمن، وانطلاقا من العلاقة (1.4) نستطيع ايجاد علاقة عامة تحدد الشدة الإشعاعية حيث:

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

عند $t = 0$:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_0 = -\lambda N_0$$

$$\frac{dN}{dt} = \left(\frac{dN}{dt}\right)_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = \frac{dN(t)}{dt}$$

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

وتعرف $A_0 = \lambda N_0$ بالشدة الإشعاعية للعينة عند اللحظة $t = 0$، لذا فإن:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \qquad (6.4)$$

1.2.1.4 وحدات قياس الشدة الإشعاعية:

تعرف وحدة النشاط الإشعاعي البيكريل (Bq) بأنها تفكك نووي في الثانية (حسب نظام الوحدات الدولية).

1 (Bq) =1 تفكك / الثانية.

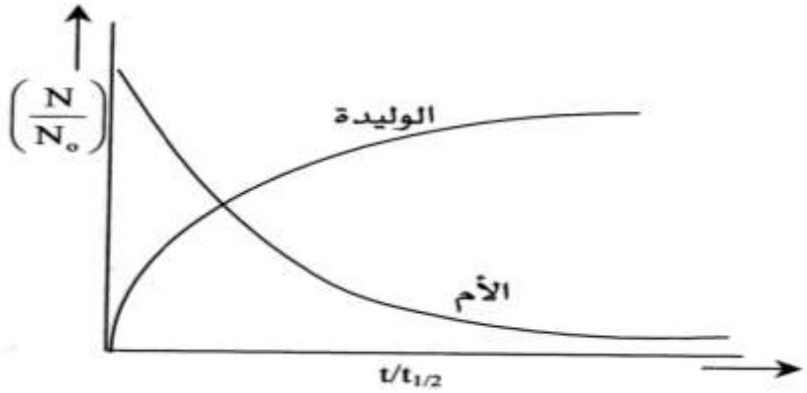
أما وحدة الكوري (Ci) فتعرف بأنها عدد التفككات النووية في الثانية الناتجة عن غرام واحد من الراديوم. وأجزاؤه وهي الميلي كوري mCi والميكروكوري µCi، عند معايرة الشدة الاشعاعية لغرام من الراديوم وجدت أنها مساوية 3.7×10^{10} تفكك في الثانية.

وهناك وحدة ثالثة للنشاط الإشعاعي هي راذرفورد Rutherford (Rd) وهي عبارة عن تفكك في الثانية وهي نادرة الاستخدام.

3.1.4 الأساس النظري لانحلال النشاط الإشعاعي:

لقد تم دراسة انحلال النشاط الإشعاعي لنواة الثوريوم الأم (كمادة نشطة إشعاعيا) و النواة الوليدة من قبل رذرفورد و سودي وقد وضعا النتائج كما هي في الشكل (3.4) كمخطط توضيحي. إن منحنى الانحلال الأسي للنواة الأم هو انحلال أسي في طبيعته، بعبارة أخرى من الممكن التعبير عن النشاط الإشعاعي للنواة كدالة للزمن بواسطة المعادلة الآتية:

$$A(t) = A(0)e^{-\lambda t}$$



الشكل (3.4): عمليات الانحلال للنواة الأم و الوليدة

إذ ان $A(0)$ تمثل النشاط الإشعاعي الابتدائي للنواة الأم و $A(t)$ هو النشاط الإشعاعي للنواة الأم بعد مرور فترة زمنية مقدارها (t)، أما المنحنى المتعلق بالنواة الوليدة فقد وجد أنه يحقق المعادلة التالية:

$$A_d(t) = A(0)\{1 - e^{-\lambda t}\} \qquad (7.4)$$

الرمز (d) يشير إلى النواة الوليدة، و (λ) له نفس القيمة في المعادلة $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$ والمعادلة $dN = -\lambda N dt$ لذلك فإن منحنيات الانحلال و النمو للنواتين الأم و الوليدة تكون متناظرة.

لقد حصل رذرفورد Rutherford وسودي Soddy على نتائج تجريبية مشابهة في حالة نواة اليورانيوم الأم والنواة الوليدة لها ما عدا الاختلاف في الزمن. إذ وجد أن عمر النصف لنواة الثوريوم يساوي تقريبا 3.5 يوم في حين عمر النصف لنواة اليورانيوم هو 24 يوم.

4.1.4 السلاسل الإشعاعية:

تتحلل بعض العناصر المشعة مباشرة وفي خطوة واحدة إلى عنصر غير مشع مثل البوتاسيوم المشع الذي يتحلل مباشرة إلى الرادون غير المشع، أو الكربون المشع الذي يتحول مباشرة إلى النتروجين غير المشع، أو الرابيديوم المشع الذي يتحول مباشرة إلى السترونسيوم غير المشع، وفي هذه الحالة تسمى مثل هذه العناصر ثنائيا إشعاعيا، لكن العناصر الثقيلة لا تكفي لها خطوة واحدة لكي تتخلص النواة من الجسيمات النووية الزائدة فيها، الأمر الذي يستلزم عدة خطوات، تتخلص في كل خطوة منها إما من احدى جسيمات بيتا، وفي هذه الحالة تتحول إلى نواة احدى نظائر العنصر (والذي له نفس الوزن الذري)، أو تتخلص من جزيئات ألفا وفي هذه الحالة تتحول إلى نواة احدى نظائر العنصر السابق عليها بمركزين في الجدول الدوري وفي نفس الوقت ينقص بمقدار أربعة وحدات في الوزن الذري، ويستمر هذا التحول من عنصر مشع إلى عنصر مشع آخر حتى تصل النواة إلى عنصر نهائي غير مشع، أي عنصر مستقر، وتسمى مجموعة النظائر من النظير المشع الأول إلى النظير النهائي المستقر بسلسلة التحلل الإشعاعي.

وتوجد في الطبيعة ثلاثة سلاسل إشعاعية هي:

- الأولى تبدأ باليورانيوم 238 وتنتهي بالرصاص 206 وتسمى سلسلة اليورانيوم.
- الثانية تبدأ باليورانيوم 235 وتنتهي بالرصاص 207 وتسمى سلسلة الأكتينيوم.

ـ الثالثة تبدأ بالثوريوم 232 وتنتهي بالرصاص 208 وتسمى سلسلة الثوريوم.
ومن المعروف أن الرصاص العادي وزنه الذري هو 204 ولذلك يطلق على الرصاص الناتج من سلاسل التحلل الإشعاعي (الرصاص الإشعاعي) لتمييزه عن الرصاص العادي.

5.1.4 التفكك المتسلسل:

إذا كانت النواة البنت عبارة عن نواة مشعة أيضاً وبالتالي يكون هناك تفكك لها إلى أن تصل إلى نواة مستقرة، وهذا هو مصطلح التفكك المتسلسل.

لنأخذ حالة خاصة و هي عندما تكون النواة الثالثة هي عبارة عن نواة مستقرة أي أن التفكك يحصل حسب المعادلة التالية:

$$ {}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X} \xrightarrow{\lambda_1} {}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X} \xrightarrow{\lambda_2} {}^{A_3}_{Z_3}\mathrm{X} + \mathrm{Radiation} $$

هنا لدينا عنصرا مشعا ${}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X}$ تفكك بثابت λ_1 لينتج عنصرا آخر ${}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X}$ مشعا و يتفكك أيضا بثابت تفكك λ_2 ليشكل عنصراً مستقرا ${}^{A_3}_{Z_3}\mathrm{X}$.

ولنفرض أن عدد الأنوية N_1, N_2, N_3 للأنوية ${}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X}, {}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X}, {}^{A_3}_{Z_3}\mathrm{X}$ على التوالي فإن النشاط الإشعاعي لهذه العمليات يمكن كتابته كالتالي:

$$ \left.\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\ \frac{dN_3}{dt} &= \lambda_2 N_2 \end{aligned}\right\} \qquad (8.4) $$

مجموعة المعادلات تعطينا معدل تغيير عدد الأنوية و بحل هذه المعادلات نحصل على:

$$ \left.\begin{aligned} N_1(t) &= N_0^{(1)} e^{-\lambda_1 t} \\ N_2(t) &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_0^{(1)}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) + N_0^{(2)} e^{-\lambda_2 t} \\ N_3(t) &= N_0^{(3)} + N_0^{(2)}\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) + N_0^{(1)}\left[1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} e^{-\lambda_1 t}\right] \end{aligned}\right\} \qquad (9.4) $$

6.1.4 التأريخ بالنشاط الإشعاعي:

يمكن بواسطة الإشعاع تقدير عمر المواد العضوية النباتية أو الحيوانية ذات عمر يقارب 40000 سنة باستعمال الكربون 14. يتواجد عنصر الكربون 14 في كل المركبات العضوية. يتكون هذا العنصر أساسا من الكربون 14 المشع الذي يتميز بنصف عمر قدره 5730 سنة.

يستند مبدأ التاريخ بواسطة الكربون 14 على النظرية القائلة بأن نسبة الكربون 14 على الكربون 12 في الكون وفي العالم الحي ثابتة عموما. تم هذا بفضل التبادلات مثل التحليل الضوئي والتغذية التي تحدث باستمرار.

1.6.1.4 التأريخ بالكربون المشع :

يحدد العلماء عمر جسم قديم بقياس محتوى الكربون المشع وتسمى هذه العملية التأريخ بالكربون المشع. وهي عملية تستخدم لتحديد عمر الشيء القديم عن طريق قياس محتواه من الكربون المشع، وقد طور هذا الأسلوب الكيميائي الأمريكي ويلارد ليبي Willard Libby في أواخر أربعينيات القرن العشرين. استخدم علماء الآثار والجيولوجيون طريقة ليبي ليعرفوا كثيرًا عن حياة إنسان ما قبل التاريخ وحيواناته ونباتاته منذ 50000 سنة.

ذرات الكربون مثل جميع الكائنات المشعة تنحل (تتفكك بإطلاق جسيمات) بمعدل دقيق و منتظم وتختفي نصف كمية الكربون المشع بعد نحو 5700 سنة، ومعنى هذا أن الكربون المشع له نصف عمر يعادل تلك الفترة ويبقى ربع الكمية الأصلية من الكربون المشع بعد 11400 سنة، وبعد 5700 عام أخرى يبقى الثمن، وهكذا يضمحل الكربون المشع في أنسجة الكائن باستمرار مادام الكائن يعيش. وبعد أن يموت الكائن، فإنه لا يتناول الغذاء أو الهواء وبالتالي لا يمتص الكربون المشع. ويستمر الكربون المشع الموجود فعلاً في الجسم في النقصان بمعدل ثابت. ويساعد هذا الانحلال الثابت، الذي يسير بمعدل معروف (نصف عمر 5700 عام)، العلماء على تحديد عمر الشيء.

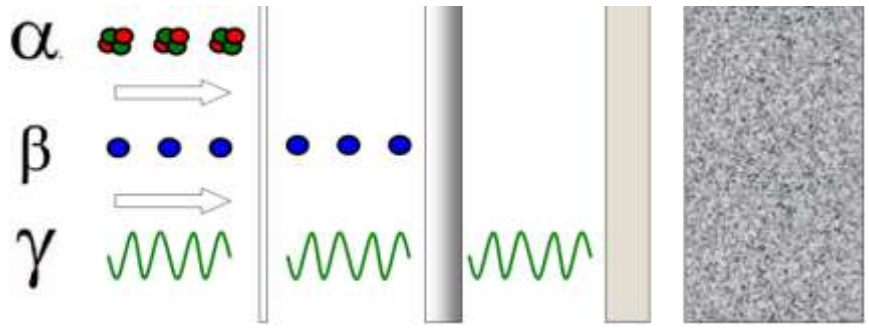
وفي إحدى طرق تحديد العمر بالكربون المشع، يحرق العلماء قطعة من الجسم قيد الدراسة ويحولونها إلى غاز ثاني أكسيد الكربون. وينقى غاز ثاني أكسيد الكربون، وتقاس كمية الكربون المشع في ثاني أكسيد الكربون النقي بعدادات الإشعاع. وتكتشف هذه الأجهزة الإلكترونات التي تطلقها ذرات الكربون المشع، وتتحول ثانية إلى ذرات نيتروجين. ويشير عدد الإلكترونات المنبعثة إلى محتوى الكربون المشع.

2.4 الاشعاعات النووية (ألفا، بيتا وغاما)

يوجد في الطبيعة ما يربو على 250 نواة مستقرة، لكن عدد النظائر المعروفة حتى الآن يزيد عن 1400 نظير، بمعنى أن معظم النظائر غير مستقر ولا يتواجد في الطبيعة لوقت طويل. وهناك أسباب كثيرة تدفع نواة ما لتتحلل أهمها أن تحاول الوصول لحالة مستقرة. فمثلا يمكن لنواة أن تحوي أكثر مما تحتاج من البروتونات فيتحول إحداها إلى نيترون داخل النواة، أو بالعكس تحوي نيترونات كثيرة فيتحول إحداها لبروتون. أو قد تكون النواة تملك طاقة أكثر مما تحتاج إليه، أي أنها مثارة، فتطلق فوتونات عالية الطاقة "لتستقر" وهكذا. تسمى كل هذه العمليات تحلل نووي ونقول إنها نشطة إشعاعيا. ويطلق اسم إشعاع نووي على كل شيء تصدره النواة سواء كان فوتونا أو بروتونا أو نيوترونا أو إلكترونا أو أي جسم آخر.

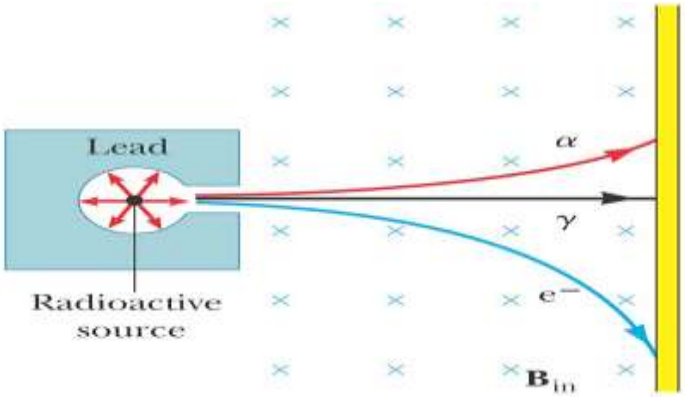
ولقد بدأ رذرفورد وآخرون دراسة طبيعة هذه الأشعة سنة 1898 فوجدوا أنه بالإمكان تصنيفها إلى ثلاث أنواع تبعا لقدرتها على اختراق المواد، فإحدى هذه الأنواع تستطيع بالكاد اختراق قصاصة ورق، أما النوع الثاني فكان يستطيع المرور خلال سمك من مادة الألمنيوم قدره 3mm. أما النوع الثالث فكانت له قدرة اختراق عالية بحيث يمكن له المرور خلال عدة سنتمترات من مادة الرصاص.

أطلق على هذه الأنواع الثلاثة أشعة ألفا، بيتا وغاما على التوالي.



الشكل (4.4): قابلية الأشعة النووية على اختراق المواد.

ويمكن التعرف على هذه الإشعاعات الثلاثة بوضع مادة مشعة في مجال مغناطيسي أو كهربائي فنلاحظ أن الشعاع الخارج من المادة المشعة ينقسم إلى ثلاث مجاميع اثنتان منهما تنحرفان في اتجاهين متعاكسين والثالثة لا تعاني انحرافا. وقد تبين أن الشعاع الذي لا يعاني انحرافا في المجال المغناطيسي هو الشعاع γ، أما الشعاع الذي ينحرف إلى أعلى فيتكون من جسيمات α وجسيمات β الموجبة (موجبة الشحنة). أما جسيمات β السالبة (سالبة الشحنة) فتنحرف عكس اتجاه الجسيمات الموجبة إلى الأسفل.



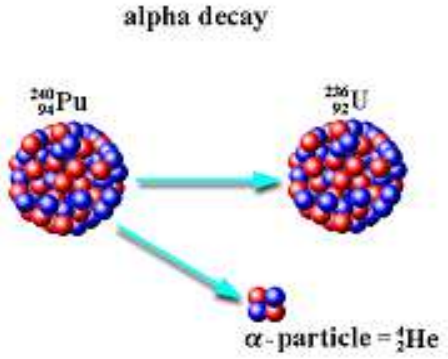
الشكل (5.4): الإشعاعات المنبعثة من مصدر مشع في مجال مغناطيسي.

1.2.4 تفكك ألفا (α-Decay):

يحدث هذا النوع من التفكك لنوى العناصر الثقيلة (أثقل من الرصاص) لأن طاقة الترابط لكل نكليون في النواة منخفضة، لذلك فهي تعتبر نوى غير مستقرة وبالتالي فهي تميل إلى الاستقرار فتتفكك إلى نوى أخف وأكثر استقرارا وينبعث نتيجة هذا التفكك جسيم ألفا و هو عبارة عن نواة الهيليوم المكونة من بروتونين ونيترونين، وهي عبارة عن جسيمات تحمل شحنة موجبة تبلغ شحنتها ضعف شحنة البروتون. لذا فانه يمكن التحكم في مسارها باستخدام مجالات كهربائية أو مغناطيسية كما يمكن تعجيلها باستخدام المعجلات النووية إلى قيم عالية

للطاقة. وتنتمي هذه الجسيمات إلى مجموعة الجسيمات النووية الثقيلة. يمثل هذا التفكك بالمعادلة التالية:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He \qquad (10.4)$$



الشكل (6.4): تحلل النظير وتولد جسيمات ألفا.

مثال: $^{232}_{92}U \rightarrow ^{228}_{90}Th + ^{4}_{2}He$

1.1.2.4 شرط انحلال الجسيمة ألفا:

لكي تكون النواة (الأم) مشعة لجسيم ألفا يجب أن تحقق الشرط أن كتلتها أكبر من مجموع كتلة النواة الوليدة أو (الناتجة) وكتلة جسيم ألفا.

2.1.2.4 طاقة جسيمات ألفا:

طاقة جسيمات ألفا -بشكل عام- الصادرة عن نواة نظير معين لها قيمة واحدة مثلا نظير البولونيوم طاقة جسيمات ألفا الصادرة عنه هي : 5.3 Mev لكن هناك نظائر تكون قيمة طاقة جسيمات ألفا الصادرة عنها تتراوح بين قيمتين وذلك تبعا لحالة النواة الوليدة فإذا تكونت النواة الوليدة بالحالة الأرضية تأخذ ألفا القيمة الكبرى للطاقة وإذا تكونت في حالة مثارة تتخذ جسيمات ألفا القيمة الصغرى للطاقة، مثال نواة اليورانيوم لها قيمتين للطاقة 4.91 Mev و 4.41Mev.

ولحساب الطاقة الناتجة عن التفكك نستخدم علاقة اينشتاين .

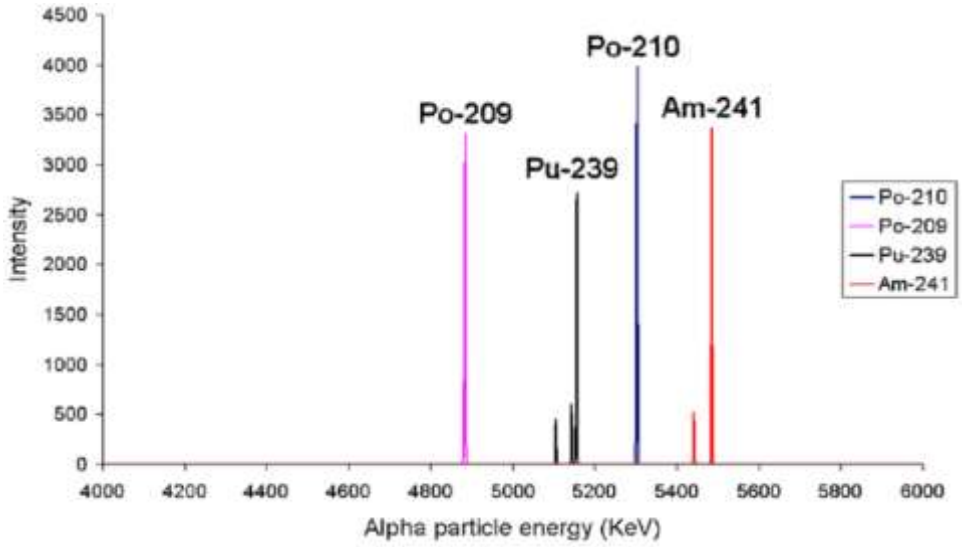
$$E_{\alpha} = \left[Mp - (Md + M\alpha) \right] C2 \qquad (11.4)$$

حيث:
M_p: هي كتلة النواة الأم.
M_d : هي كتلة النواة الوليدة.
M_α: هي كتلة جسيمات ألفا.
C: سرعة الضوء.

تتوزع الطاقة الناتجة من التفكك بين النواة الوليدة وجسيم ألفا بحيث يحمل جسيم ألفا الجزء الأكبر من الطاقة وتحمل النواة الوليدة جزء أصغر من الطاقة.

3.1.2.4 طيف طاقة ألفا:

بما أن الناتج عن انحلال ألفا هو نواة واحدة و طاقة الجسيمة α لها قيمة واحدة دائما. فعند تحليل جسيمات ألفا في مقياس ألفا الطيفي فنلاحظ مجموعة الطاقة الأساسية التي تتمتع بأكثر شدة و أخرى من الجسيمات ألفا طاقات أقل، و كل منها تنتمي لقيمة الطاقة الخاصة بها E، و إن طيف ألفا الطاقي هو طيف خطي و ينتج نتيجة لتحول داخلي، ولجسيمات α ذات الطاقة الأقل مما للمجموعة الأساسية مدى في المادة أقل و تسمي بجسيمات القصيرة المدى التي تنبعث حين تكون النواة الناتجة في الحالة المثارة.



الشكل (7.4): طيف الطاقة لجسما ت ألفا.

طيف جسيمات ألفا عبارة عن قيم محددة للطاقة.

2.2.4 تفكك بيتا (β-Decay):

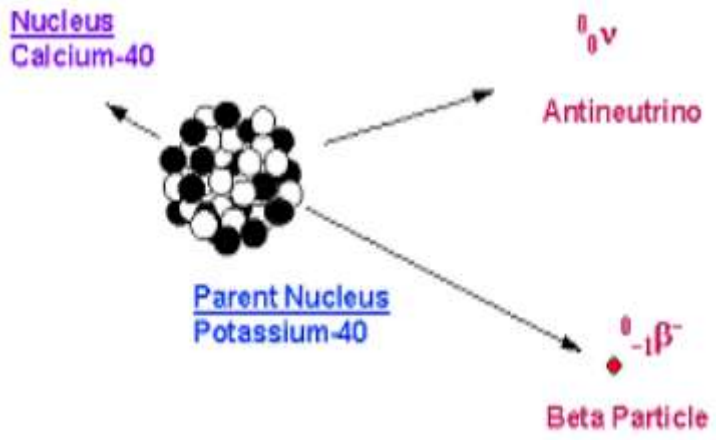
هناك إصدار آخر يعرف باسم جسيمات بيتا وهذه الجسيمات عبارة عن إلكترونات أو بوزيترونات وهي عبارة عن جسيمات كتلتها مساوية تماما لكتلة الإلكترون لكنها موجبة الشحنة ويحدث هذا النوع من التفكك في غالبية النظائر المشعة سواء أكانت ثقيلة أو خفيفة. ولكي تكون الأنوية أكثر استقرارا يجب أن تكون النسبة بين عدد النيترونات والبروتونات (N/Z) في نواة هذا النظير، تتراوح هذه النسبة بين 1 و 1.6 تناسبا مع خفة أو ثقل هذه النوى. عند حدوث أي نوع من أنواع تفكك بيتا ينطلق من النواة جسيم يعرف باسم النيوترينو ليس له كتلة و متعادل كهربائيا.

هناك ثلاثة أنواع من تفكك بيتا وهي:

- التفكك الإلكتروني (بيتا السالب).
- التفكك البوزيتروني (بيتا الموجب).
- الأسر الإلكتروني.

1.2.2.4 التفكك الإلكتروني (بيتا السالب):

يتحول فيه نيوترون إلى بروتون للحصول على نسبة الاستقرار (N/Z) ويصاحب هذا التحول إصدار جسيم يدعى النيوترينيو المضاد $\bar{\nu}$.



الشكل (8.4): تحلل النظير وتولد جسيمات بيتا السالب.

ويحدث التفكك الإلكتروني وفق المعادلة التالية:

$$^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{1}_{1}P + \beta^{-} + \bar{\nu} \qquad (12.4)$$

مثال:

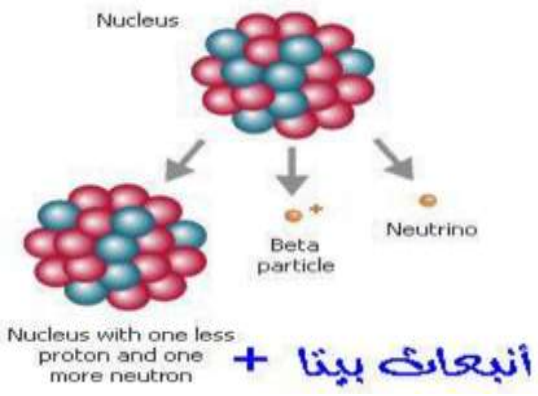
$$^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}N + \mathrm{e}^{-} + \bar{\nu}$$

2.2.2.4 التفكك البوزيتروني (بيتا الموجب):

عكس التحول الأول فيتحول البوزيترون إلى نيترون ويصاحب هذا التحول إصدار جسيم يدعى النيوترينو ν.

ويحدث التفكك البوزيتروني وفق المعادلة التالية:

$$^{1}_{1}\mathrm{P} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \beta^{+} + \nu \qquad (13.4)$$



الشكل (9.4): تحلل النظير وانبعاث جسيمات بيتا الموجب.

مثال: $${}^{1}_{1}\mathrm{P} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \beta^{+} + \nu$$

3.2.2.4 الأسر الإلكتروني:

تأسر النواة إلكترونا من إلكترونات المدارات القريبة منها (المدار K و أحيانا المدار L) و يتحد هذا الإلكترون مع أحد بروتونات النواة فيتكون نيترون دون إصدار جسيم بيتا.

ويحدث الأسر الإلكتروني وفق المعادلة التالية:

$$ {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{1}_{1}\mathrm{P} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \nu \qquad (14.4)$$

4.2.2.4 شرط حدوث التفكك بيتا:

إن الشرط الأساسي لحدوث أي نوع من أنواع التفكك بيتا، هو أن تكون كتلة النواة الأم اكبر من مجموع كتل النواة الوليدة و جسيم بيتا، و يكون الفرق بين كتلة النواة الأم و مجموع الكتل هو عبارة عن الطاقة التي ينطلق بها كل من جسيم بيتا و النيوترينو أو النيوترينو المضاد.

5.2.2.4 طاقة جسيمات بيتا:

إذا كانت طاقة الجسيمات ألفا لها قيمة واحدة أو قيم محددة فإن طاقة الجسيمات بيتا يمكن أن تتخذ أي قيمة اعتبارا من الصفر حتى تصل لقيمة قصوى معينة لكل نظير.

ذكرنا أن طاقة التفكك تتوزع بين جسيمات ألفا والطاقة الوليدة لكن في جسيمات بيتا تتوزع طاقة التفكك بين الجسمين الناتجين وهما:

(الإلكترون والنيوترينو المضاد) في حال التفكك الإلكتروني وبين (البوزترون و النيوترينو) في حال التفكك البوزيتروني .

وطاقة التفكك الإلكتروني تكون ثابتة، ويمكن تحديدها بالعلاقة:

$$E(\beta^-)=\left[M(^{A}_{Z}X)-M(^{A}_{Z+1}X)\right]c^2 \qquad (15.4)$$

أما بالنسبة لطاقة التفكك البوزيتروني تكون كذلك ثابتة وتحدد بالعلاقة:

$$E(\beta^+)=\left[M(^{A}_{Z}X)-M(^{A}_{Z-1}X)-m_{e-}\right]c^2 \qquad (16.4)$$

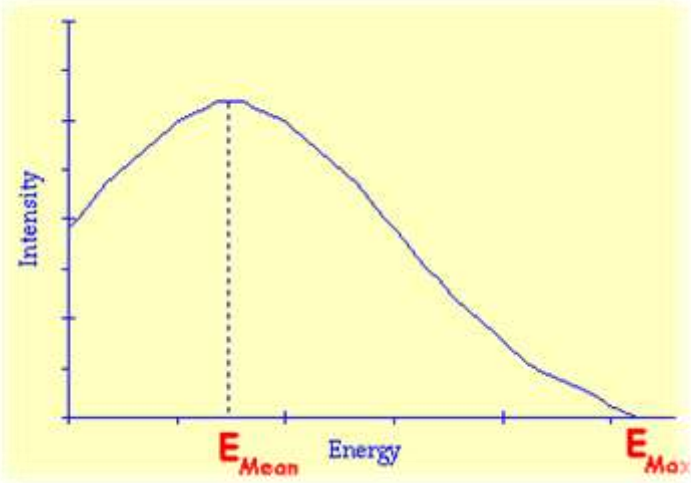
توزيع الطاقة بين الجسيمين الناتجين في كلا الحالتين السابقتين. وفي حالة الأسر الالكتروني تكون الطاقة الناتجة أيضا ثابتة للنظير المعين وهي:

$$E_{E_C}=\left[M(^{A}_{Z}X)-M(^{A}_{Z-1}X)\right]c^2 \qquad (17.4)$$

منحنى طيف أشعة بيتا يوضح أن طاقة جسيمات بيتا تتخذ أي قيمة ابتداء من الصفر وحتى أقصى قيمة، وطيف جسيمات بيتا عبارة عن طيف مستمر عكس طيف أشعة ألفا الذي يتخذ قيمة واحدة أو قيم محددة.

6.2.2.4 طيف الطاقة لجسيمات بيتا:

يكون طيف جسيمات بيتا متصلا وتأخذ القيم اعتبارا من الصفر وحتى القيمة القصوى للنظير . وهذا يفسر وجود الجسيم النيوترينو والنيوترينو المضاد للحفاظ على قانون حفظ الطاقة وكمية التحرك.



الشكل (10.4): طيف الطاقة لتفكك بيتا.

3.2.4 تفكك غاما (γ-Decay)

في أغلب الأحيان تكون الأنوية الوليدة الناتجة عن تفكك ألفا وتفكك بيتا في حالة مثاره. ويعني هذا أن طاقة النواة تكون أعلى من طاقتها في الحالة المستقرة (الأرضية). ولا تستطيع النواة أن تعيش في هذه الحالة المثارة طويلا ولكنها سرعان ما تنتقل إلى حالة أقل إثارة أو إلى الحالة الأرضية، وتتخلص من الطاقة الزائدة عن طريق إصدار إشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات غاما. كذلك يمكن أن تنتج هذه الأشعة عن إثارة الأنوية المستقرة بطرق مختلفة كالتفاعلات النووية مثلاً ثم تعود هذه الأنوية المثارة من جديد إلى حالتها الأرضية بعد إصداراها للطاقة الزائدة في شكل إشعاعات غاما.

وإشعاعات غاما عبارة عن فوتونات (موجات كهرومغناطيسية) كالفوتانات الضوئية.

بصفة عامة تكون طاقة الفوتون غاما E_γ نتيجة انتقال النواة من الحالة المثارة الابتدائية i إلى حالة نهائية أقل إثارة f مساوية للفرق بين طاقتي الحالتين و تحدد بالعلاقة:

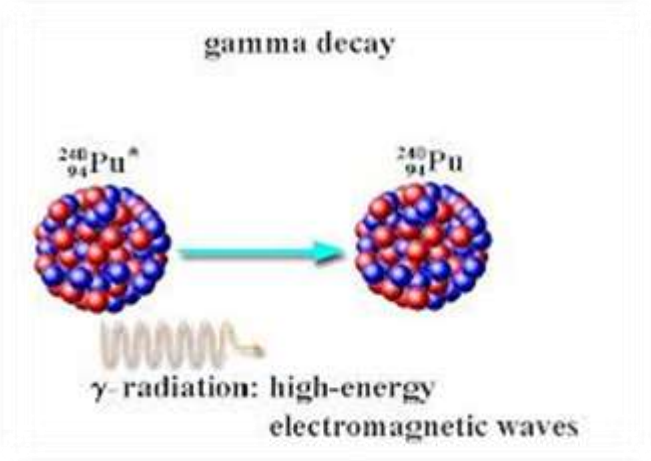
$$E_\gamma = E_i - E_f = h\nu \qquad (18.4)$$

حيث: ν هو تردد الفوتون غاما و h هو ثابت بلانك.

وتكون معادلة هذا التفكك من الشكل:

$$^{A}_{Z}Y^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma \qquad (19.4)$$

إشارة النجمة * فوق العنصر Y تشير إلى وفرة الطاقة للعنصر المولد Y من جراء تفككات سابقة.



الشكل (11.4): إشعاع غاما.

1.3.2.4 خصائص أشعة غاما:

كما ذكرنا سابقا، تنبعث أشعة غاما من النوى المشعة على شكل حزمات من الطاقة تدعى الفوتونات وعادة يصاحب إطلاق جسيمات بيتا في نفس المستوى وتكون لها طاقات في نفس المجال.

ان أشعة غاما تبلغ عدة آلاف من الإلكترون فولت إلى بضعة ملايين، ولكنها مخالفة لجسيمات بيتا التي تبطئ عند فقدها الطاقة وينتهي الأمر بارتباطهما بالذرة بينما تسير أشعة غاما بكافة طاقتها بسرعة الضوء أن أشعة غاما تفقد الطاقة خلال الالتقاء التصادفي الذي ينتج عن قذف الإلكترونات من النواة وهي قد تفقد جميع طاقتها أو جزء منها خلال الالتقاء وإذا ما تم فقد جزء من الطاقة فإن الباقي يستمر في السير خلال الفضاء بسرعة الضوء بصفة فوتونات ذات طاقة أقل وكلما زادت طاقة فوتونات غاما زادت طاقة الإلكترونات المتحركة والإلكترونات التي تم انتقال الطاقة لها من قبل فوتونات أشعة غاما تولد التلف في الوسط (بواسطة تأين وتهيج الذرات) ومتى ما تحرر الإلكترون بواسطة الفوتون فإن الحدث الذي يلي ذلك يعتمد فقط على خواص الإلكترون وليس على فوتون غاما الذي حرره.

وأشعة غاما لا تملك كتلة لأنها فوتونات، لذلك فإن انبعاثها لا يؤثر على العدد الكتلي أو العدد الذري.

2.3.2.4 قواعد الانتقاء لتفكك غاما:

لا تنتقل الالكترونات بين مستويات الطاقة في ذرة ما بشكل اعتباطي، لا في حالة امتصاص الطاقة ولا في حالة انبعاثها، بل ان ذلك يجري طبقا لقواعد معينة تسمى قواعد الانتقاء وهي ببساطة كما يلي:

$$\Delta J = \pm 1$$

للانتقالات المسموح بها علما بأن:

$$J = 0 \rightarrow J = 0$$

هو انتقال غير مسموح به.

وأن J يمثل الزخم الزاوي الكتلي للذرة.

الحقيقة التي يجب إدراكها هي أن الانتقالات الالكترونية في الذرة تشع فقط (أو تتعامل مع أشعة) مصدرها ثنائي قطب كهربائي. هذه الأشعة تنتج من تذبذب عزم ثنائي القطب الكهربائي أو وبمستوى أقل حدوثا هو تذبذب عزم ثنائي قطب مغناطيسي أو عزم رباعي قطب كهربائي، إن الأشعة التي مصدرها ثنائي القطب الكهربائي هي السائدة في الذرات، أما الأخرى فنادرة الحدوث جدا. وذلك لا يعني أن الذرة ستبقى في حالة تهيج إن كان الانتقال الذي سيعيدها إلى حالتها المستقرة غير مسموح به، فالذرات من الممكن أن تتصادم وبالتالي تستطيع الذرات المتهيجة أن تفرغ حمولتها من الطاقة لذرات أخرى، إذن فعملية التصادم هي عملية مهمة تساعد في حدوث الانتقالات المحرمة من ناحية قواعد الانتقاء.

3.4 التمارين المقترحة

التمرين الاول: ما هو الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي لا يتبقى من 5 ملي غرام من ^{22}Na سوى 1 ملي غرام علما ان $T_{1/2}=260$ a ns

التمرين الثاني: يبلغ العمر النصفي لنكليد ما 20 يوم

- ما هو الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي يتفكك ثلاثة ارباع العدد الموجود اصلا من النوى في عينة من هذا النكليد
- ما هو الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي يبقى ثمن العدد الموجود اصلا من النوى في عينة من هذا النكليد

التمرين الثالث: تحتوي عينة على نظيرين نشطين اشعاعيا. العمر النصفي لأحدهما هو يوم (1j) والعمر النصفي للأخر هو ثمانية ايام (8j). يساوي نشاط الابتدائي للنكليد الاسرع تفككا 128 مرة نشاط الابتدائي للنكليد الاخر.
متى (الزمن) يحصل تساوي نشاطيهما.

التمرين الرابع: اذا كان 3.10^{-9} Kg من الذهب $^{200}_{79}Au$ نشاطه الاشعاعي الابتدائي يساوي 58.9Ci
فما هو العمر النصفي لهذا النكليد.

التمرين الخامس : يتولد النكليد A1 النشيط اشعاعيا حسب السلسلة التالية

$$\longrightarrow \quad A1 \longrightarrow \quad \lambda 1$$

A2 $\lambda 2$ A3(Stable)

عين عدد النوى N1 , N2 , N3 في اللحظة t اذا علمت بأنه في اللحظة t=0 يوجد N_{01} .

التمرين السادس: ما هي الطاقة الاعظمية للإلكترون الصادر خلال التفكك β للنواة ^3_1H
$M(^3_1H)= 3.0160492675u$, $M(^3_2He)= 3.0160293097u$

التمرين السابع: النكليد $^{20}_9F$ يتفكك الى الحالة الاساسية للنكليد $^{20}_{10}Ne$ من خلال التفككات التالية

$$^{20}_9F \longrightarrow {}^{20}_{10}Ne^* + e^- + \bar{\upsilon}$$
$$^{20}_{10}Ne^* \longrightarrow {}^{20}_{10}Ne + \gamma$$

حيث $^{20}_{10}Ne^*$ حالة مثارة ل $^{20}_{10}Ne$
اذا كانت الطاقة الاعظمية للالكترونات الصادرة 5.4 ev وإذا كانت طاقة γ هي 1.6 Mev
احسب الكتلة الذرية ل $^{20}_9F$ علما ان $M(^{20}_{10}Ne) = 19.99244u$

التمرين الثامن: احسب طاقة التفكك عندما تنحل النواة $^{232}_{92}U$ $M(^{232}_{92}U)=$ 232.03714u, الى النواة $^{228}_{90}Th$, $M(^{228}_{90}Th)=$ 228.02873u وذلك ببعث جسيمات $^{4}_{2}He$ $M(^{4}_{2}He)=$ 4.002603u ,

التمرين التاسع: احسب الطاقة المتحررة عندما ينحل $^{14}_{6}C$ الى $^{14}_{7}N$ ويبعث جسيمات β^- , $^{14}_{6}C(14.003242u)$, $^{14}_{7}N(14.003074u)$

التمرين العاشر: تبعث نواة الكوبلت $^{60}_{27}Co$ * شعاع γ طاقته 1.33Mev . عندما يحدث انتقال الى مستوى الاستقرار. - احسب كتلة النواة المتهيجة. حيث $M(^{60}_{27}Co)=$ 59.933820u