4.2. النشاط الإشعاعي Radioactivity

يتميز العديد من النظائر سواء الطبيعية أو الصناعية بخاصية النشاط الإشعاعي، وهي عبارة عن تفكك (إضمحلال) نواة النظير تلقائيا إلى نواة أصغر بإصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا أو كاما، وتعرف هذه النظائر بالنظائر المشعة تميزا لها عن تلك النظائر المستقرة والتي لا تتعرض للتفكك Decay ولا تعتمد عملية التفكك على أي من الظروف الطبيعية مثل: الحرارة والرطوبة والضغط، كما أنها لا تعتمد أيضا على الظروف الكيميائية مثل: نوع المركب الكيميائي أو حالة النظير صلبة أو سائلة أو غازية.

1-التفكك بواسطة ألفا α-Decay

إن النوى الثقيلة (أثقل من الرصاص) تكون قيمة الترابط للنيوكلون فيها ضعيفة، لذلك فإنها تعتبر غير مستقرة فتلجأ إلى أن تتفكك إلى أنوية أخف وأكثر إستقرارا.

فمثلا: تتفكك نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ إلى نواة الثوريوم $^{234}_{90}Th$ الأخف وينطلق نتيجة لذلك جسيم ألفا.

$$^{238}_{92}U \longrightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}H$$

ومن الخواص المميزة لجسيمات ألفا هو أنها تتميز بطاقات محددة وقد وجد أن جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين لها تقريبا نفس الطاقة إذا كان النظير ينتقل من الحالة المثارة Exited State إلى الحالة المستقرة Ground State مباشرة أو تكون جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين لها أكثر من طاقة وذلك لإنتقال النظير من الحالة المستقرة إلى حالة غير مستقرة أخرى قبل الوصول لحالة الإستقرار حيث ينبعث فرق الطاقة في صورة أشعة كاما لكي تصل النواة إلى حالة الإستقرار.

وعند إنبعاث جسيمات ألفا يقل عدد الكتلة للعنصر بأربعة ويقل العدد الذري إثنين، ويمكن حساب طاقة جسيمات ألفا المنبعثة كالتالي:

$$E_r = [M_p - M_d - M_\alpha] \times C_2 \times 931$$

حيث أن M_p الوزن الذري للأم Parent ، و M_d الوزن الذري للإبنة Daughter ، و M_α وزن جسيم ألفا المنبعث ، و E_r الطاقة الكلية المنبعثة نتيجة للإنحلال (التفكك) وتساوي طاقة جسيمات ألفا + الطاقة المرتدة للذرة الإبنة (≈ 0.1 Mev) .

2-التفكك بواسطة بيتا β-Decay

ينقسم تفكك بيتا إلى ثلاثة أنواع.

أ.التفكك الإلكتروني (النيكاترون) β^- Decay :

إذا قل عدد البروتونات عن عدد النيوترونات فإن هذا يعني أن النواة تحاول أن تصل إلى حالة الإستقرار وذلك عن طريق تحول النيوترون إلى بروتون كالتالي:

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

ونتيجة لذلك ينطلق إلكترون سالب الشحنة خارج النواة بسرعة تساوي سرعة الضوء . يطلق عليه جسيم β أو النيكاترون، وعلى ذلك فإن النواة الوليدة يزداد عددها الذري Z بمقدار واحد عن النواة الأم أما العدد الكتلي فلا يتغير بتغير A .

وتخرج جسيمات بيتا من المادة المشعة بطاقات مختلفة ولكنها مميزة بمقدار معين وهو الطاقة العظمى ويسمى بطاقة إنحلال وهو مميز لكل عنصر. فمثلا في حالة ^{116}In فإن طاقة بيتا العظمى تساوي Beta E_{max} = 2.95 Mev وفي معظم التفكك يصحب جسيمات بيتا أشعة جاما ولكن في حالات قليلة يكون التفكك بواسطة جسيمات بيتا فقط مثل:

Isotpe	^{3}H	^{14}C	^{32}P	^{35}S	^{45}Ca	^{60}Co
E_{max}	0.019	0.155	1.710	0.167	0. 258	0.316

ورغم أن طاقات بيتا للعناصر المختلفة التي تستخدم أقل من طاقات ألفا فنجد أن جسيمات بيتا لها مدى أكبر لتخترق المواد أكثر من جسيمات ألفا وذلك يرجع لصغر وزنها (1758/1 من α) ولذلك تستخدم النظائر التي تشع بيتا في إقتفاء الأثر الكيميائي.

ب.التفكك البوزيتروني Positron Decay :

إذا قل عدد النيترونات عن عدد البروتونات فإن النواة تحاول أن تستقر عن طريق تحول أحد البروتونات إلى نيوترون وينطلق نتيجة لهذا التحول جسيم موجب الشحنة يعرف بإسم البوزيترون.

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

وعند خروج البوزيترون من النواة يفقد طاقته وذلك بإصطدامه بالذرات الأخرى وحينئذ تيحد مع أحد الإلكترونات خارج النواة ويتحول الاثنان إلى أشعة جاما (2 فوتون متساويين في الطاقة وطاقة كل منهما تساوي 0.511Mev). ويمكن حسابها كالتالي:

$$E = mC^2$$

وزن الإلكترون = 9.1095×10^{-31} Kg

سرعة الضوء = 2.998×10^{8} m/sec

إذا تكون الطاقة المنطلقة = $9.1095 \times 10^{-31} \times (2.998 \times 10^{8})^2 \times 2 = 1.6375 \times 10^{-13}$ J

$= (1.6375 \times 10^{-13})/(1.6022 \times 10^{-19})$

$= 1.022 \times 10^{6}$ ev

= 1.022 Mev

وهذه طاقة 2 فوتون، وكل فوتون يحمل طاقة قدرها 0.511 Mev وهي أشعة خارقة يمكن قياسها بسهولة لذلك يمكن إستخدام النظائر التي تشع بوزيترون في الكيمياء لإقتفاء الأثر.

ج. الأسر الإلكتروني Electron Capture(EC) :

عندما يكون النظير غني بالبروتونات ولكن الطاقة الناتجة عن تحويل بروتون إلى نيوترون أقل من 1.022 Mev فلا يمكن حدوث تفكك بوزيتروني ولكن تأسر النواة أحد الإلكترونات الذرية في المدار الأول ثم يتحد مع أحد البروتونات داخل النواة فيتحول هذا البروتون إلى نيوترون دون إنطلاق أي جسيمات بيتا خارج النواة

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

وأقرب إلكترون للنواة هو الإلكترون الذي في المدار K ولهذا يطلق عليه الأسر (K-K Capture) ، وينزل الإلكترون في المدار الأعلى ليملأ فراغ هذا الإلكترون. وهكذا حتى تصل إلى المدار الأخير. وتخرج أشعة نتيجة لترتيب الإلكترونات في المدارات هي أشعة إكس (x-ray) . ويمكن الإستدلال على الأسر الإلكتروني في النظائر بواسطة أشعة إكس الناتجة.

3. التفكك بواسطة أشعة جاما:

رأينا فيما سبق أن إنبعاث جسيمات ألفا أو بيتا يعطي نواة الإبنة في حالة غير مستقرة وعلى هذا فإن النواة تفقد طاقة مساوية لفرق الطاقة بين الحالة المستقرة والحالة غير المستقرة. وهذه الطاقة تفقد على هيئة أشعة ذات طول موجي قصير تسمى أشعة جاما.

ويوجد نوعان من التحلل (التفكك):

1.التفكك البسيط: وفيه تشع جسيمات ألفا أو بيتا ذات طاقة واحدة ويصاحبها إنبعاث لأشعة جاما ذات طاقة واحدة أيضا.

2.التفكك المركب: وفيه يشع العنصر أكثر من حسيم بيتا أوألفا ذات طاقات مختلفة وهذا يؤدي إلى أكثر من حالة لعدم الإستقرار للنواة الإبنة وهذا يحتاج إلى إنبعاث أكثر من أشعة جاما بطاقات مختلفة لكي تصل إلى حالة الإستقرار. مثل تفكك اليود−130 الموضح في الشكل (5-2)

التفكك بالتنشيط:

كل النظائر الموجودة في الطبيعة لا تتفكك تلقائيا إلا بالطرق السابقة إنبعاث (ألفا أو بيتا أو جاما)، لكن بعض النظائر المصنعة من العناصر الإنتقالية وجد أنها تنشطر تلقائيا (أي أن النواة تنفسم إلى جزيئين)، مثال ذلك:

تحلل الكالكليفورنيوم−252 حيث يتحلل وينبعث منه نيوترونات ولذلك يستخدم كمصدر للنيوترونات ولذلك يستخدم كمصدر للنيوترونات وأيضا اليورانيوم 235 وكذلك البريليوم 9 :

$$^{252}_{98}Cf \longrightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{108}_{44}Ru + 4n + Energy$$

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow Fission\ Products + 25\ {}^{1}_{0}n + Energy$$

$$^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}\alpha \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

5.2. قانون التفكك

عند ملاحظة التفكك الإشعاعي للعناصر المشعة وجد أن معدل التفكحك في وحدة الزمن يتناسب مع العدد الكلي للذرات المشعة الموجودة. وعلى ذلك فإن ΔN عدد الذرات التي تتفكك في زمن قدره Δt يتناسب مع عدد الذرات المشعة N الموجودة عنج الزمن t أي أن:

$$-\Delta N/\Delta t \; \alpha \; N$$

$$-\Delta N/\Delta t = \text{Const.} \times N$$

$$-\Delta N/\Delta t = \lambda N$$

حيث أن λ ثابت التناسب ويسمى ثابت التفكك وهو خاص بكل عنصر وتختلف قيمته من عمصر لآخر. وبإعادة ترتيب المعادلة نجد أن:

$$\Delta N/N = -\lambda \Delta t$$

وبالتكلمل ينتج:

$$\ln N + \text{Const.} = -\lambda t$$

بالتعويض في المعادلة بـ $t=0$ و $N=N_0$ ينتج:

$$\ln N_0 + \text{Const.} = 0$$

$$\text{Const.} = -\ln N_0$$

بالتعويض في المعادلة :

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln (N/N_0) = -\lambda t$$

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

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

ومن الناحية العملية لا يمكن قياس عدد الذرات الموجودة عند الزمن الإبتدائي $t_0 = 0$ وعدد الذرات الموجودة بعد زمن معين t، ولكن عمليا يمكن قياس النشاط الإشعاعي للعنصر A وهو يتناسب مع عدد الذرات (الأنوية) الموجودة N . وتصبح المعادلة السابقة على الصورة:

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

حيث أن A هي النشاط الإشعاعي للعنصر وهو عبارة عن عدد التفكك في الثانية. وهناك طرق عديدة لرسم العلاقة بين الإنحلال الإشعاعي والزمن منها:

2.رسم العلاقة بين لوغاريتم النشاط الإشعاعي A (للأساس 10 أو اللوغاريتم الطبيعي log or ln) والزمن.

$$\ln A = \ln A_0 - \lambda t$$

$$2.303 \log A = 2.303 \log A_0 - \lambda t$$

$$\log A = \log A_0 - \lambda / 2.303\ t$$

نلاحظ أن المعادلتين معادلة خط مستقيم وهي تمثل كالتالي:

$$Y = mx - C$$

حيث وجد أن وحدات $\lambda = 1/t = \sec^{-1}$ or $\min^{-1}$ or h^{-1}

وهي علاقة خط مستقيم في المنحيين ويكون الميل في الشكل الأول يساوي $-\lambda$ وفي الشكل الثاني يساوي $-\lambda/2.303$ والجزء المقطوع في الشكل الأول يساوي $\ln A_0$ وفي الشكل الثاني log A_0 .

وبقياس النشاط الإشعاعي لأي عنصر في أي أزمنة ورسم العلاقة بين لوغاريثم النشاط الإشعاعي والزمن يمكن حساب ثابت التفكك لهذا العنصر الذي هو مميز ومنه يمكن التعرف على العنصر.

6.2. عمر النصف $T_{1/2}$

يعرف عمر النصف بأنه الزمن اللازم لتفكك نصف الذرات المشعة الموجودة أي عندما يكون الزمن $t = T_{1/2}$ فإن :

$$A = 1/2 A_0$$

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

$$A_0/2 = A_0\, e^{-\Lambda t_{1/2}}$$

$$½ = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$2 = e^{\Lambda t_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$$

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

فترة عمر النصف هي عبارة عن قيمة ثابتة لكل عنصر وتستعمل للتعرف على النظائر المشعة.

مسائل وتمارين:

1- النشاط الإشعاعي لنظير مشع يساوي 5000 تفكك في الثانية عند قياسه في بداية الزمن ، وبعد 90 ثانية كان النشاط الإشعاعي 1500 تفكك في الثانية. إحسبي ثابت الإنحلال؟

2- وجد أن معدل التفكك (النشاط الإشعاعي) لعينة يساوي 16000 تفكك في الدقيقة عند الساعة التاسعة في يوم معين. ما هو النشاط الإشعاعي لهذه العينة في الساعة 21 من اليوم التالي، علما بأن عمر النصف لهذه العينة هو 15 ساعة؟

3- أوجدي النشاط الإشعاعي بعد مرور عشر أضعاف عمر النصف؟