

# الباب الثاني النشاط الإشعاعي



## الباب الثاني

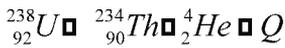
## النشاط الإشعاعي Radioactivity

يعرف النشاط الإشعاعي بأنه الأشعة الكهرومغناطيسية أو الجسيمات التي تخرج من الأنوية النشطة إشعاعياً ثم تتحول هذه الأنوية إلى أنوية أخرى تكون مستقرة. ولقد اكتشف العالم الفرنسي بيكريل عام ١٩٨٦ م عندما وجد أن بعض أملاح اليورانيوم تصدر إشعاعاً بصورة تلقائية لا تعتمد علي حالة اليورانيوم الكيميائية والفيزيائية. ولقد تم ذلك الاكتشاف عندما وضع عنصر اليورانيوم في مكان واحد مع لوح فوتوغرافي، وبعض فترة من الزمن وجد خطوط سوداء علي اللوح مما يؤكد أن نوع من الإشعاع ينطلق من هذه المواد ويؤثر علي اللوح الفوتوغرافي ثم اكتشف بعد ذلك أن بعض المواد الطبيعية الأخرى مثل الراديوم تحدث نفس التأثير فأطلق علي هذه المواد أسم المواد المشعة وسميت هذه الظاهرة بالنشاط الإشعاعي.

## ٢-١ أنواع الإشعاعات

توجد ثلاثة أنواع من الإشعاعات مصدرها النواة وهي:

- ١- جسيمات ألفا ( $\alpha$  particles) وهي عبارة عن نواة ذرة الهيليوم ( ${}^4_2\text{He}$ ) والأنوية التي تخرج منها جسيمات ألفا تتحول إلى نواة أخرى جديدة يقل عددها الكتلي بمقدار ٤ والعدد الذري بمقدار ٢ مثل التفاعل الآتي:



- ٢- جسيمات بيتا ( $\beta$  particles) وهي عبارة عن إلكترونات سالبة ( $\beta^-$ ) وإلكترونات موجبة ( $\beta^+$ ). ، والأنوية التي تخرج منها جسيمات بيتا تتحول إلى نظير للنواة الأم ولا يتغير عددها الكتلي ولكن العدد الذري يزيد أو يقل بمقدار الوحدة مثل الحالات الآتية:

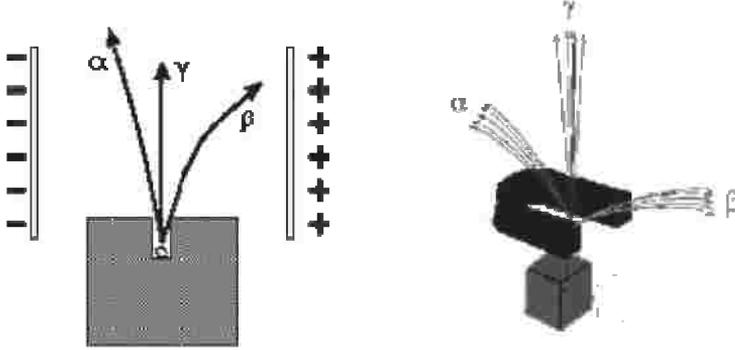
١- خروج جسيمات بيتا السالبة عندما تكون النواة تحتوي علي عدداً زائداً من النيوترونات وفيها يتحول النيوترون إلي بروتون داخل النواة ويخرج جسيم أولي يسمى ضدنيوتريينو  $\bar{\nu}$  كتلته الساكنة تساوي صفر تقريباً. ونلاحظ أن العدد الذري يزيد بمقدار الوحدة.



ب- خروج جسيمات بيتا الموجبة عندما تكون النواة تحتوي علي عدداً زائداً من البروتونات وفيها يتحول البروتون إلي النيوترون داخل النواة ويخرج جسيم أولي يسمى النيوتريينو  $\nu$  كتلته الساكنة تساوي صفر تقريباً. ونلاحظ أن العدد الذري يقل بمقدار الوحدة. مثل



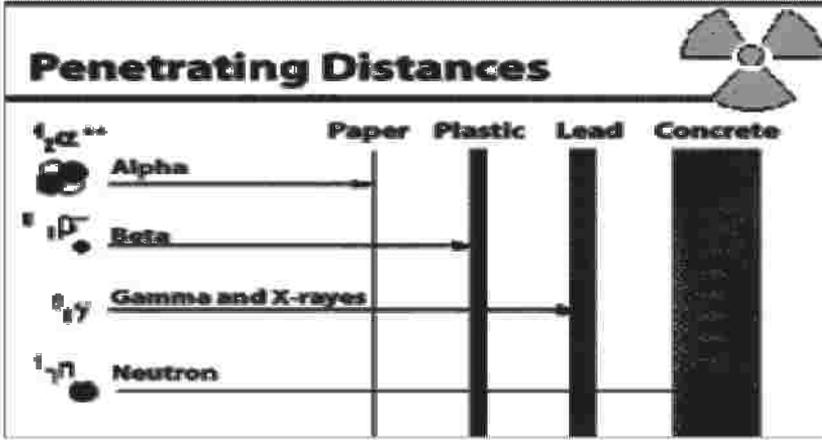
٣- أشعة جاما ( $\gamma$  rays) وهي أشعة كهرومغناطيسية ذات تردد عالي وتنطلق نتيجة لحركة الشحنات داخل النواة مثل انتقال البروتون بين القشور النووية والأنوية التي تخرج منها أشعة جاما لا تتحول إلي نواة جديدة ولكن تقل درجة أثارته. شكل (٢-١) يوضح تأثير المجال المغناطيسي علي الأشعاعات النووية. وجدول (٢-١) يوضح قوة التأين والنفاذية النسبية لهذه الإشعاعات النووية وتعتبر هذه الإشعاعات إشعاعات مؤينة ionizing radiation أي أن طاقاتها قادرة على تأين ذرات الوسط التي تنتقل من خلاله ويتولد بالتالي أيونات موجبة الشحنة و إلكترونات. وشكل (٢-٢) يوضح قوة اختراق الأشعة النووية خلال الجسيمات.



شكل (٢-١) يوضح تأثير المجال المغناطيسي على الأشعاعات النووية

قوة النفاذية النسبية	قوة التأين النسبية	الإشعاعات النووية
١	١٠٠٠٠	جسيمات ألفا ( $\alpha$ particles )
١٠٠	١٠٠	جسيمات بيتا ( $\beta$ particles )
١٠٠٠٠	١	أشعة جاما ( $\gamma$ rays )

جدول (٢-١) يوضح قوة التأين والنفاذية النسبية للإشعاعات النووية



شكل (٢-٢) يبين مرور الأشعاعات النووية في المواد المختلفة

## ٢-٢ قانون الانحلال (الاضمحلال) الإشعاعي

### Law of Decay of Radioactivity

ظاهرة النشاط الإشعاعي ذات طبيعة إحصائية أي لا يتحلل نفس عدد الأنوية عند نفس الظروف ونفس الفترة الزمنية ولذلك لا يمكن التنبؤ عن نتيجة عملية الانحلال الإشعاعي مسبقاً وتعتمد هذه العملية علي الاحتمالات. ويعرف ثابت الانحلال الإشعاعي ( $\lambda$ ) علي أنه احتمال انحلال نواة العنصر إشعاعياً في وحدة الزمن في الثانية الواحدة ووحدته ( $\text{sec}^{-1}$ ). ويعتبر ثابت الانحلال الإشعاعي مقدار ثابت لجميع أنوية العنصر الواحد ولا يعتمد علي درجة الحرارة والرطوبة والضغط ويعتمد فقط علي تركيب نواة العنصر ولا تعتمد علي الزمن أي لا تعتمد علي عمر النواة المشعة. فإذا كان ( $\lambda$ ) هي احتمال انحلال النواة في الثانية الواحدة وبالتالي يكون احتمال انحلال النواة في فترة زمنية  $dt$  هو  $\lambda dt$ . وإذا كان عدد الأنوية لنفس العنصر هو  $N$  فيمكن حساب عدد الأنوية التي تتحلل  $dN$  في الفترة الزمنية  $dt$  هو:

$$dN = -\lambda N dt \quad (2-4)$$

والإشارة السالبة تعني أن عدد الأنوية يقل بمرور الزمن. ويمكن كتابة المعادلة

(2-4) علي الصورة الآتية:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (2-5)$$

بتكامل المعادلة (2-5) نحصل علي:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt = -\lambda t \quad (2-6)$$

حيث  $N_0$  عدد الأنوية عند الزمن  $t = 0$ ،  $N$  عدد الأنوية عند الزمن  $t$ . ومن التكامل السابق نحصل علي:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t = \ln N_0 e^{-\lambda t} \quad (2-7)$$

ويمكن تعريف النشاط الإشعاعي بأنه عدد الإنحلالات الناتجة من مادة مشعة في الثانية الواحدة.

$$A = -\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2-8)$$

عند  $t = 0$  فإن  $A_0 = \lambda N_0$  وبالتالي يمكن التعويض في (2-8) نحصل علي:

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2-9)$$

حيث:  $A_0$  هي النشاط الإشعاعي الابتدائي أي عند  $t = 0$ ،  $A$  هي النشاط الإشعاعي بعد مرور فترة زمنية  $t$ .

### ٢-٣ نصف العمر الزمني Half Life Time

يعرف نصف العمر الزمني بأنه الزمن اللازم لتحلل نصف عدد الأنوية الموجودة في المادة المشعة ويرمز له  $(t_{1/2})$  أي أنه عندما تكون  $t = t_{1/2}$  فإن

$$N = \frac{N_0}{2} \quad (2-7) \text{ نحصل علي:}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2} e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2-10)$$

وعندما نأخذ لوغاريتم الطرفين نحصل علي:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln(e^{-\lambda t_{1/2}}) = -\lambda t_{1/2} \quad (2-11)$$

$$\ln(2) = \lambda t_{1/2} = t_{1/2} \lambda \quad (2-12)$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2-13)$$

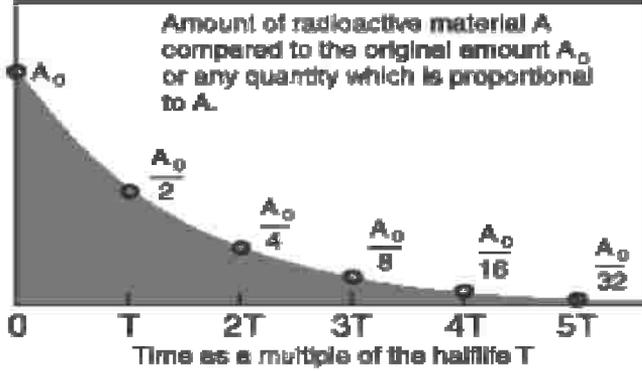
ويكون النشاط الإشعاعي للمادة المشعة هو:

$$A = A_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2-14)$$

ونستنتج مما سبق أن نصف العمر الزمني ( $t_{1/2}$ ) يتناسب عكسياً مع ثابت الانحلال الإشعاعي ( $\lambda$ ). جدول (٢-٢) يوضح أعمار النصف لبعض العناصر النووية.

العنصر النووي	نصف العمر الزمني
اليورانيوم-٢٣٨ ( ${}^{238}_{92}U$ )	$451 \times 10^7$ سنة
اليورانيوم-٢٣٥ ( ${}^{235}_{92}U$ )	$7 \times 10^8$ سنة
الثوريوم-٢٣٢ ( ${}^{232}_{90}Th$ )	$139 \times 10^8$ سنة
الراديوم-٢٢٦ ( ${}^{226}_{88}Ra$ )	١٥٩٠ سنة
الرادون-٢٢٢ ( ${}^{222}_{86}Rn$ )	٣,٨ يوم
الكربون-١٤ ( ${}^{14}_6C$ )	٥٧٣٠ سنة
الكوبالت-٦٠ ( ${}^{60}Co$ )	٥ سنة

ويبين شكل (٢-٣) تغير النشاط الإشعاعي (A) مع فترة نصف العمر الزمني (T).



#### ٢-٤ متوسط العمر الزمني Mean Life Time

يعرف متوسط العمر الزمني بأنه مجموع أعمار كل الأنوية علي عددها أو هو معدل الزمن الذي تبقي خلاله الأنوية بدون إنحلال أشعاعي ويرمز له بالرمز  $T_m$  ويمكن حسابه من:

$$T_m = \frac{\sum taN}{\sum aN} \quad (2-15)$$

ولأن الزمن كمية متصلة فيمكن أن نستخدم التكامل بدلاً من المجموع وتكون المعادلة كالآتي:

$$T_m = \frac{\int_0^{\infty} taN}{\int_0^{\infty} aN} = \frac{\int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt}{\int_0^{\infty} \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt} = \frac{\int_0^{\infty} te^{-\lambda t} dt}{\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt} \quad (2-16)$$

$$T_m \approx \frac{d \left( \frac{1}{d} \right)}{\frac{1}{d}} \approx \frac{1}{d} \quad (2-17)$$

أي أن متوسط عمر النواة الواحدة أكبر من عمر النصف للمادة المشعة كلية. ومن المعادلة (2-13) يمكن حساب ثابت الانحلال من:

$$t_{1/2} \approx \frac{0.693}{d} \approx \frac{0.693}{T_m}$$

وبالتعويض في المعادلة (2-17) يمكن حساب العلاقة بين عمر النصف الزمني ( $t_{1/2}$ ) ومتوسط العمر الزمني  $T_m$ :

$$T_m \approx \frac{1}{d} \approx \frac{t_{1/2}}{0.693} \approx 1.44 t_{1/2} \quad (2-18)$$

### ٢-٥ الانحلال الإشعاعي المتزن

تكون بعض المواد الناتجة من عمليات الانحلال الإشعاعي هي مواد مشعة فتتحل بصورة تلقائية في حال تكوينها. ومثال علي ذلك اليورانيوم-٢٣٤ حيث يتحول إلي ثوريوم-٢٣٠ وجسيم ألفا والثوريوم يتحول بدوره إلي راديوم ٢٢٦ وجسيم ألفا وهكذا. نفرض أن النواة الأم هي  $X_1$  ونصف العمر لها  $t_1$  وثابت الانحلال لها  $d_1$  وقد تفككت ونتاج عنها مادة جديدة تعرف بالنواة الابنة  $X_2$  ونصف العمر لها  $t_2$  وثابت الانحلال لها  $d_2$  ونفرض أن عدد ذرات المادة الأصلية عند  $t = 0$  يساوي  $N_0$  بينما عدد ذرات النواة الابنة يساوي الصفر عند  $t = 0$  ويمكن كتابة عدد ذرات النواة الأم كدالة في الزمن علي الصورة:

$$N \approx N_0 e^{-d_1 t} \quad (2-19)$$

وبعد فترة زمنية قدرها  $dt$  فإن عدد الأنوية المنحلة من النواة الأم  $X_1$  ويتحول إلي النواة الابنة هو  $(N_1 d_1 dt)$  والتي ينقص عددها في نفس

الفترة الزمنية وبسبب التحلل بمقدار  $(N_2 \lambda_2 dt)$  وبالتالي يكون عدد الأنوية المتبقية من  $X_2$  يكون  $N_2$  حيث:

$$\frac{dN_2}{dt} = N_1 \lambda_1 - N_2 \lambda_2 \quad (2-20)$$

ويكون معدل إنتاج النواة الابنة:

$$\frac{dN_2}{dt} = N_1 \lambda_1 - N_2 \lambda_2 \quad (2-21)$$

وتكون فترة نصف العمر الزمني للنواة الأم كبيرة جداً بالمقارنة بفترة نصف العمر الزمني للنواة الابنة أي  $t_1 \gg t_2$  وفي هذه الحالة عند اعتبار الفترة الزمنية التي تكون متقاربة مع  $t_2$  وهي بالتالي قصيرة جداً مقارنة مع فترة نصف العمر للنواة الأم فإنه يمكن اعتبار أن عدد ذرات الأم ثابت وكذلك عدد الذرات التي تتحلل في الثانية الواحدة. وبما أن معدل النواة الابنة كبير جداً فإن هذه النواة تتحلل بنفس معدل تكوينها ويبقى عدد ذراتها ثابتاً ويكون معدل إنتاجها معدوماً أي أن:

$$\frac{dN_2}{dt} = N_1 \lambda_1 - N_2 \lambda_2 = 0 \quad (2-22)$$

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 \quad (2-23)$$

وفي حالة وجود عدة عمليات تحلل فيمكن تعميم النتيجة وتكون:

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 = N_3 \lambda_3 \quad (2-24)$$

ويكون نشاط جميع الأنوية الموجودة متساوياً ويقال أن التحلل في هذه الحالة متزنًا.

## ٢-٦ السلاسل الإشعاعية Radioactive Chain

يوجد في الطبيعة كثيراً من العناصر المشعة وخاصة العناصر ذات العدد الذري الكبير ( $Z \geq 82$ ) لأن بها عدد كبير من البروتونات ويحدث بينها تنافر ونتيجة لقوة التنافر بينها ينشأ في النواة عدم استقرار وتصبح نواة مشعة وتقوم بإطلاق جسيمات ألفا وبيتا حتى تصل إلى عنصر مستقر ودائماً يكون الرصاص. وتوجد العناصر المشعة الطبيعية في ثلاث سلاسل

معروفة وتسمى السلسلة بأسم العنصر الأطول في العمر والسلاسل الثلاثة هي:

١- سلسلة الثوريوم  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  وتكون صيغة العدد الكتلي لها  $4n$  حيث  $n$  عدد صحيح وتبدأ السلسلة بالثوريوم  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  الذي له فترة نصف العمر الزمني تساوي  $139 \times 10^8$  سنة وتنتهي بالرصاص  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ .

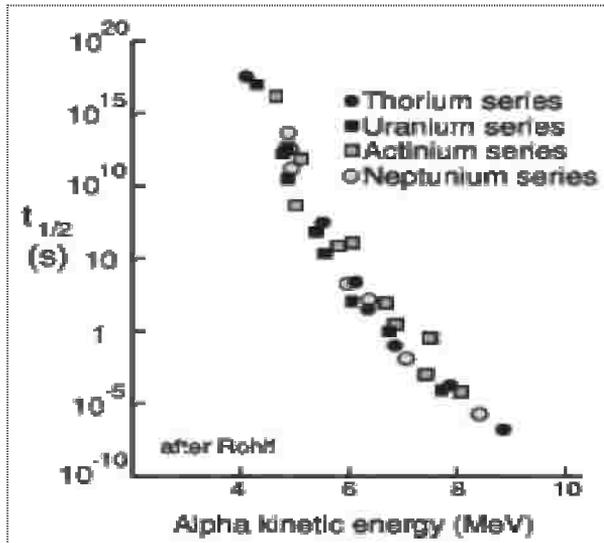
٢- سلسلة اليورانيوم  ${}^{238}_{92}\text{U}$  وتكون صيغة العدد الكتلي لها  $4n + 2$  حيث  $n$  عدد صحيح وتبدأ السلسلة باليورانيوم  ${}^{238}_{92}\text{U}$  الذي له فترة نصف العمر الزمني تساوي  $451 \times 10^7$  سنة وتنتهي بالرصاص  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$  كما في شكل (٢-٤).

٣- سلسلة الاكتينيوم وهو أحد نظائر اليورانيوم  ${}^{238}_{92}\text{U}$  وتكون صيغة العدد الكتلي لها  $4n + 3$  حيث  $n$  عدد صحيح وتبدأ السلسلة بالاكتينيوم الذي له فترة نصف العمر الزمني تساوي  $707 \times 10^6$  سنة وتنتهي بالرصاص  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ .

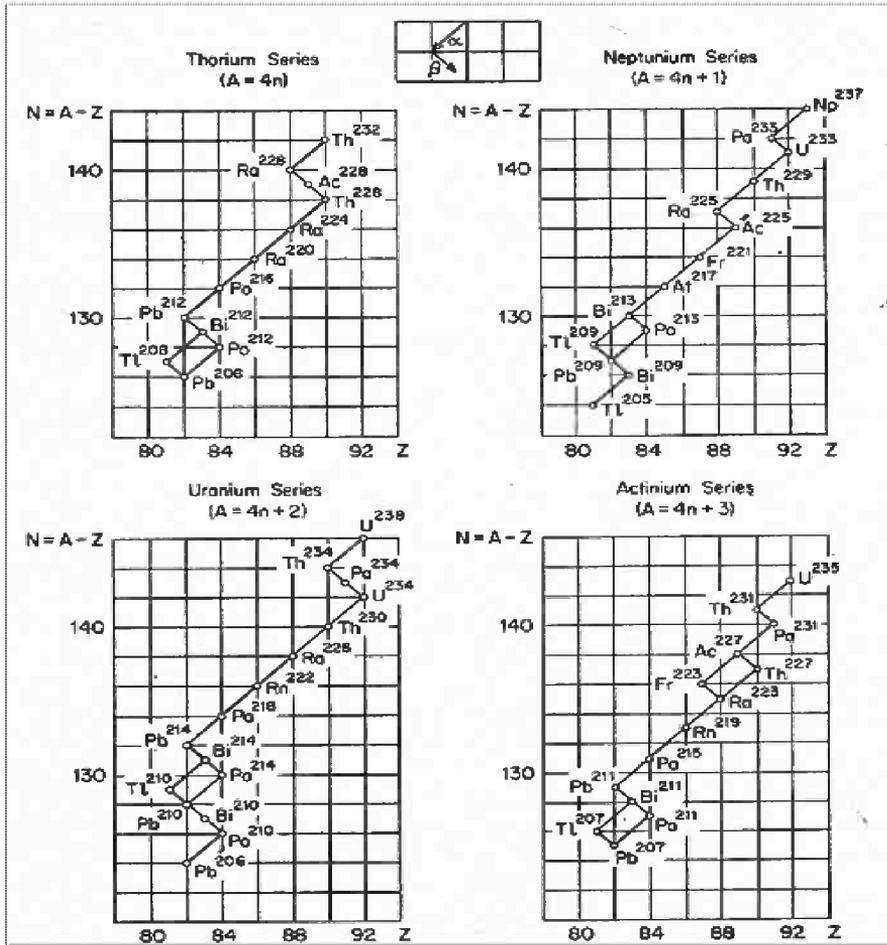
٤- سلسلة النبتونيوم  ${}^{237}_{93}\text{Np}$  وهي سلسلة رابعة غير موجودة في الطبيعة ولكن يمكن تحضيرها في المفاعلات النووية. وتكون صيغة العدد الكتلي لها  $4n + 1$  حيث  $n$  عدد صحيح وتبدأ السلسلة بالنبتونيوم  ${}^{237}_{93}\text{Np}$  الذي له فترة نصف العمر الزمني تساوي  $225 \times 10^4$  سنة وتنتهي بالبزموت  ${}^{208}_{83}\text{Bi}$ . شكل (٢-٥) يوضح طاقة الحركة لجسيم ألفا في السلاسل الأربعة. شكل (٢-٦) يوضح شكل السلاسل الإشعاعية الأربعة.

URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY		
type of radiation	nuclide	half-life
α	uranium—238	4.5 x10 <sup>9</sup> years
β	thorium—234	24.5 days
β	protactinium—234	1.14 minutes
α	uranium—234	2.33 x10 <sup>5</sup> years
α	thorium—230	8.3 x10 <sup>4</sup> years
α	radium—226	1590 years
α	radon—222	3.825 days
α	polonium—218	3.05 minutes
β	lead—214	26.8 minutes
β	bismuth—214	19.7 minutes
α	polonium—214	1.5 x10 <sup>-4</sup> seconds
β	lead—210	22 years
β	bismuth—210	5 days
α	polonium—210	140 days
α	lead—206	stable

شكل (٢-٤) يوضح سلسلة اليورانيوم <sup>238</sup>U<sub>92</sub>



شكل (٢-٥) يوضح طاقة الحركة لجسيم ألفا في السلاسل الأربعة.



شكل (٢-٦) يوضح السلاسل الإشعاعية الأربعة.

### ٢-٧ الانشطار الإشعاعي Radioactive Fission

ظاهرة النشاط الإشعاعي قد هزت دعائم قانون بقاء الطاقة عند اكتشافها عام ١٨٩٦م. وقد فرض العالم الفيزيائي الألماني الأصل البرت أينشتين Albert Einstein في نظريته "النظرية النسبية الخاصة" أن الكتلة ما هي إلا صورة من صور الطاقة حيث ثبت صحة هذا الفرض بعد ذلك عملياً. وقد نال عليها جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٢١م. و المعادلة

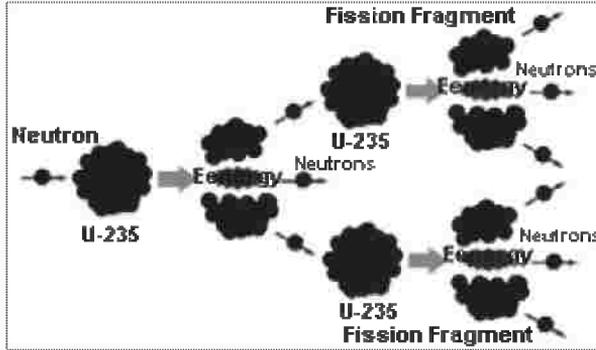
الشهيرة تتلخص في أن الطاقة  $E$  المنبعثة نتيجة تحول كتلة ما  $m$  تساوي عددياً حاصل ضرب قيمة هذه الكتلة في مربع سرعة الضوء في الفراغ أي أن  $E = mc^2$  حيث  $c = 3 \times 10^{10} \text{ cmlsec}$  وهذا معناه أن كتلة صغيرة جداً قادرة على أن تعطى كمية هائلة من الطاقة. وعلى سبيل المثال فإن جرام واحد من المادة يكافئ حوالي  $E = 9 \times 10^{20}$  جول من الطاقة.

ولقد تم اكتشاف الانشطار النووي في ديسمبر ١٩٣٨ م أي بعد حوالي ٤٢ عاماً من اكتشاف النشاط الإشعاعي وذلك عندما حاول العلماء استحداث نظير لعنصر اليورانيوم  $^{235}$  ذو العدد الذري ٩٢ والذي تحتوي نواته على ١٤٣ نيوترون وذلك بإضافة نيوترون جديد إلى نواته ليصبح يورانيوم  $^{236}$ . وهذا النظير غير مستقر فيتفتت إلى وحدات صغيرة لعناصر جديدة ويكون مصاحباً لانبعاث طاقة حرارية هائلة نتيجة نقص في مجموع كتل الوحدات الصغيرة بعد التفاعل عن تلك الكتلة الداخلة قبل التفاعل. وبتطبيق علاقة أينشتاين قدرت الطاقة الحرارية المتولدة من انشطار نواة اليورانيوم  $^{235}$  بحوالي ٢٠ مليون ضعف الطاقة الحرارية المتولدة من اشتعال جزئ واحد من مادة الديناميت. ونظراً لخروج عدد ٣ نيوترونات بالإضافة إلى عنصر الأسترنشيوم-٩٠ والزينون-١٤٣ فإن هذا الانشطار يمكن أن يستمر كما هو مبين في الشكل حيث تتكرر هذه العملية مع نويات يورانيوم أخرى فيما يسمى بالتفاعل المتسلسل Chain reaction كما في شكل (٧-٢). وتوجد مشكلتان أساسيتان قابلت العلماء لإتمام التفاعل المتسلسل في اليورانيوم الطبيعي يمكن تلخيصهما فيما يلي، وهما أن كمية اليورانيوم-٢٣٥ في اليورانيوم الطبيعي ضئيلة بالنسبة لنظيره يورانيوم-٢٣٨ وذلك بنسبة ١ إلى ١٤٠. وأن النيوترونات الناتجة من عملية انشطار اليورانيوم-٢٣٥ تكون سريعة وتصل طاقتها إلى مليون إلكترون فولت ولذلك يقوم اليورانيوم-٢٣٥ بأسر معظمها فلا يتم التفاعل المتسلسل. وللتغلب على هذه المشاكل فكر العلماء في الآتي:

١- زيادة نسبة اليورانيوم-235 إلى اليورانيوم-238 في عملية تعرف باسم الإثراء (Enrichment) وهي عملية تكنولوجية معقدة نظرا لأن نظيرا اليورانيوم لهما نفس الخواص الكيماوية. لذلك تعتمد طرق فصل اليورانيوم-235 عن اليورانيوم-238 علي الاختلافات الطفيفة في خواصهما الطبيعية مثل الوزن الذري. كما تحتاج لتكنولوجيا رفيعة المستوى يتم فيها إحداث تأين لذرات اليورانيوم Ionization ثم يتم تعجيلها Acceleration واختيار أيونات ذات سرعات محددة Velocity selection. وعند التأثير عليها بمجال مغناطيسي تتحرك هذه الأيونات في مسارات دائرية متعددة تختلف فيها أنصاف الأقطار  $r$  حسب كتلتها. وبذلك يمكن فصل نظيري اليورانيوم وتكرر هذه العملية حتى يتم زيادة نسبة النظير الأول بالنسبة للثاني .

٢ - إبطاء سرعة النيوترونات Moderation وذلك عن طريق تصادمها مع مادة لها وزن ذري صغير مثل الكربون أو الماء . و بذلك تفقد النيوترونات جزءا كبيرا من الطاقة حيث تصل طاقتها إلى الطاقة الحرارية أقل من ٠,١ إلكترون فولت التي تكون فيها في اتزان حراري مع الوسط . عندئذ تكون النيوترونات قادرة على إحداث انشطار لنواة اليورانيوم-235 وقد وجد أن النيوترون يحتاج إلى ١٢٣ اصطداما مع نوي الكربون ليصل إلى السرعة الحرارية. وكما قل الوزن الذري لمهدئ Moderator انخفض عدد تصادمات النيوترون ليصل إلى السرعة الحرارية.

٣- الإبقاء علي النيوترونات الناتجة من الانشطار حتى لا تتسرب خارج كتلة اليورانيوم ويستمر التفاعل المتسلسل . ويعرف حجم اليورانيوم اللازم لذلك بالحجم الحرج. Critical Size



شكل (٧-٢) يوضح التفاعل المتسلسل

## ٢-٨ وحدات قياس النشاط الإشعاعي

وحدة قياس النشاط الإشعاعي المعروفة في الوقت الحاضر هي الكوري والذي يعرف بأنه النشاط الإشعاعي الناتج من انحلال واحد جرام من المادة. ولو اعتبرنا أنه لدينا واحد جرام من الراديوم-٢٢٦ المشع وله عمر نصف ١٦٢٠ سنة فيمكن حساب النشاط الإشعاعي في الثانية الواحدة من: أولاً: نحسب ثابت الانحلال من المعادلة الآتية:

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{1620 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = 1.38 \times 10^{11} \text{ sec}^{-1}$$

ثانياً: نحسب النشاط الإشعاعي من المعادلة:

$$A = \lambda N = \lambda \left( \frac{m N_A}{M} \right)$$

حيث أن  $m$  كتلة واحد جرام من المادة،  $M$  الوزن الجزيئي للمادة،  $N_A$  عدد أفوجادرو. بالتعويض في المعادلة السابقة نحصل على:

$$A = \lambda \left( \frac{m N_A}{M} \right) = 1.38 \times 10^{11} \left( \frac{1 \times 10^{-3} \times 6.02 \times 10^{26}}{226} \right) = 0.0368 \times 10^{12}$$

$$A = 3.7 \times 10^{10} \text{ dis/sec}$$

أي أن النشاط الإشعاعي الناتج من واحد جرام من الراديوم تساوي تقريباً  $3.7 \times 10^{10} \text{ dis/sec}$  وسميت هذه القيمة الكوري أي أن وحدات النشاط الإشعاعي هي:

$$1\text{Ci} \equiv 3.7 \times 10^{10} \text{ dis/sec}(\text{sec}^{\text{al}}) \quad ١ - \text{الكوري}$$

$$1\text{mCi} \equiv 3.7 \times 10^7 \text{ dis/sec}(\text{sec}^{\text{al}}) \quad ٢ - \text{الميللي كوري}$$

$$1\mu\text{Ci} \equiv 3.7 \times 10^4 \text{ dis/sec}(\text{sec}^{\text{al}}) \quad ٣ - \text{الميكروكوري}$$

وتوجد وحدة أخرى حديثة في النظام العالمي للوحدات (SI) تسمى البيكريل لتكون وحدة قياس النشاط الإشعاعي ويعرف علي أنه تحلل نووي واحد في الثانية:

$$1\text{Bq} \equiv 1 \text{ dis/sec} \quad ١ - \text{البيكريل}$$

$$1\text{Ci} \equiv 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad ٢ - \text{الكوري}$$

٢-٩ أمثلة محلولة

مثال (٢-١) إذا كانت فترة نصف العمر الزمني لعنصر الصوديوم يساوي ١٥ ساعة. ما الوقت اللازم لانحلال ٩٣ و٧٥ % من عينه هذا النظير.

الحل: نسبة عنصر الصوديوم الكلية = ١٠٠ %

$$\text{النسبة المتبقية بعد التحلل} = ١٠٠ \% - ٩٣\% = ٦\% = ٦\% \text{ و } ٢٥\%$$

من قانون التحلل الإشعاعي وهو  $N \equiv N_0 e^{-\lambda t}$  حيث  $N_0$  عدد الأنوية قبل التحلل،  $N$  عدد الأنوية بعد التحلل. نحسب ثابت الانحلال من المعادلة الآتية:

$$\lambda \equiv \frac{0.693}{t_{1/2}} \equiv \frac{0.693}{15} \equiv 46.2 \times 10^{-3} \text{ sec}^{\text{al}}$$

وعدد الأنوية المتبقية  $\left(\frac{N}{N_0}\right)$  يحسب من:

$$\frac{N}{N_0} \equiv e^{-\lambda t} \equiv 6.25\% \equiv e^{-\lambda t}$$

$$\frac{6.25}{100} \square e^{\lambda t} \square \ln\left(\frac{6.25}{100}\right) \square \ln(e^{\lambda t}) \square \ln\left(\frac{6.25}{100}\right) \square \lambda t$$

$$\ln\left(\frac{100}{6.25}\right) \square \lambda t \square \ln(16) \square \lambda t \square t \square \frac{\ln(16)}{\lambda} \square \frac{2.8}{46.2 \square 10^{23}} \square 0.1 \square 10^3 \square 100h$$

مثال (٢-٢) إذا كانت فترة نصف العمر الزمني لعنصر البوتاسيوم المشع-

٤٠ والذي يعمل كمصدر مشع في جسم الإنسان يساوي (13 □ 10<sup>8</sup> year) ، فإذا كانت نسبته في البوتاسيوم الطبيعي تساوي (0.012%) وكانت نسبته في جسم الإنسان تساوي (0.2%). أحسب النشاط الإشعاعي للبوتاسيوم-٤٠ في جسم كتلته ٧٠ كجم.

الحل: كتلة البوتاسيوم في الجسم هي:

$$0.2\% \square 70 = \frac{0.2}{100} \square 70 = 0.14kg$$

كتلة البوتاسيوم-٤٠ المشع في الجسم هي:

$$0.012\% \square 0.14 = 1.68 \square 10^{25} kg$$

يمكن حساب عدد ذرات البوتاسيوم-٤٠ المشع الموجودة في جسم الإنسان من:

$$N \square \left(\frac{6.02 \square 10^{26}}{40}\right) \square 1.68 \square 10^{25} \square 2.53 \square 10^{20} atom$$

ويمكن حساب النشاط الإشعاعي من:

$$A \square \lambda N \square 2.53 \square 10^{20} \left(\frac{0.693}{13 \square 10^8 \square 365 \square 24 \square 3600}\right) \square 4.28 \square 10^3 sec^{-1} (Bq)$$

$$A \square 4.28 \square 10^3 sec^{-1} (Bq) \square A \square \frac{4.28 \square 10^3}{3.7 \square 10^{10}} \square 1.16 \square 10^7 Ci$$

مثال (٣-٢) إذا كانت نسبة تواجد نظيري اليورانيوم ٢٣٨، ٢٣٥ في صخور القشرة الأرضية في الوقت الحاضر هي ( ٣٧,٦ : ١ ) وعلي أن النسبة بينهما كانت في الأصل متساوية احسب عمر القشرة الأرضية علماً بأن فترة نصف العمر لليورانيوم -٢٣٨ يساوي (  $45 \times 10^8 \text{ year}$  ) وفترة نصف العمر لليورانيوم -٢٣٥ يساوي (  $713 \times 10^6 \text{ year}$  ).

الحل: من قانون التحلل الإشعاعي

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

في حالة اليورانيوم-٢٣٨ واليورانيوم-٢٣٥ تكون:

$$N_{U238} = N_0 e^{-\lambda_{238} t}, \quad N_{U235} = N_0 e^{-\lambda_{235} t},$$

وبقسمة الاثنان نحصل علي:

$$\frac{N_{U238}}{N_{U235}} = \frac{N_{0(U238)} e^{-\lambda_{238} t}}{N_{0(U235)} e^{-\lambda_{235} t}}, \quad \frac{N_{0(U238)}}{N_{0(U235)}} e^{(\lambda_{235} - \lambda_{238}) t}$$

ولكن نسبة الذرات في الأصل هي:  $1 = \frac{N_{U238}}{N_{U235}}$  وفي الوقت الحاضر هي:

$$37.8 = \frac{N_{U238}}{N_{U235}} \quad \text{وبالتعويض في المعادلة السابقة نحصل علي:}$$

$$37.8 = e^{(\lambda_{235} - \lambda_{238}) t} \quad t = \frac{\ln 37.8}{\lambda_{235} - \lambda_{238}}$$

نحسب ثابت الانحلال لليورانيوم -٢٣٨ من المعادلة الآتية:

$$\lambda_{U238} = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{45 \times 10^8} = 0.154 \times 10^{-9} \text{ year}^{-1}$$

نحسب ثابت الانحلال لليورانيوم -٢٣٥ من المعادلة الآتية:

$$\lambda_{U235} = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{713 \times 10^6} = 0.97 \times 10^{-9} \text{ year}^{-1}$$

ويمكن حساب عمر القشرة الأرضية من:

$$t = \frac{\ln 37.8}{\lambda_{235} + \lambda_{238}} = \frac{3.6}{(0.97 + 0.154) \times 10^{10}} = \frac{3.6}{0.816} \times 10^9 = 4.5 \times 10^9 \text{ year}$$

مثال (٤-٢) إذا كان عمر النصف للراديوم-٢٢٦ يساوي (1590 year) وعندما يتحلل ينتج منه رادون ( ${}^{222}\text{Rn}$ ) فترة نصف العمر له تساوي (3.8 days). أحسب كتلة الرادون الموجودة في حالة أتران مع ١ جم من الراديوم ثم أحسب نشاطها.

الحل: من قانون التحلل الإشعاعي المتزن ومن المعادلة (2-23)

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 = \frac{N_1}{t_1} = \frac{N_2}{t_2}$$

ويمكن حساب عدد ذرات الراديوم من:

$$N_1 = \frac{6.023 \times 10^{23}}{226} = 2.67 \times 10^{21} \text{ atom,}$$

$$t_1 = 1590 \times 365 \text{ days} \text{ \& } t_2 = 3.8 \text{ days}$$

ويمكن حساب عدد ذرات الرادون الموجودة في حالة أتران مع الراديوم من:

$$N_2 = \frac{N_1 t_2}{t_1} = \frac{2.67 \times 10^{21} \times 3.8}{5.8 \times 10^5} = 1.75 \times 10^{16} \text{ atom,}$$

وتكون كتلة هذه الذرات هي:

$$m = \frac{222}{6.023 \times 10^{23}} \times 1.75 \times 10^{16} \text{ atom} = 6.45 \times 10^{-6} \text{ gm,}$$

ويكون نشاط الرادون هو:

$$A = N \lambda = \frac{0.693}{3.8 \times 24 \times 3600} \times 1.75 \times 10^{16} = 3.06 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

مثال (٥-٢) إذا كان عمر النصف للاسترانشيوم-٩٠ يساوي (28year) أحسب نسبة الاسترانشيوم المتبقية بعد ١٠٠ سنة من انفجار قنبلة نووية.

الحل: من قانون التحلل الإشعاعي:  $N = N_0 e^{-\lambda t}$

حيث  $N_0$  عدد الأنوية قبل التحلل،  $N$  عدد الأنوية بعد التحلل.

نحسب ثابت الانحلال من المعادلة الآتية:

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{28}$$

وعدد الأنوية المتبقية  $(\frac{N}{N_0})$  يحسب من:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} = e^{-\left(\frac{0.693}{28}\right) \cdot 100} = e^{-2.5} = 0.09$$

مثال (٦-٢) إذا كان عمر النصف للكوبالت-٦٠ يساوي (5.27year) أحسب النشاط الإشعاعي الناتج عن جرام واحد منه.

الحل: نحسب ثابت الإنحلال من المعادلة الآتية:

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{5.27 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{0.693}{166 \cdot 10^{10}} = 4.22 \cdot 10^{13} \text{ sec}^{-1}$$

ونحسب النشاط الإشعاعي من المعادلة:

$$A = \lambda N = \lambda \left( \frac{mN_A}{M} \right)$$

حيث أن  $m$  كتلة واحد جرام من المادة،  $M$  الوزن الجزيئي للمادة،  $N_A$  عدد أفوجادرو. بالتعويض في المعادلة السابقة نحصل علي:

$$A = \lambda \left( \frac{mN_A}{M} \right) = 4.22 \cdot 10^{13} \left( \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{26}}{60} \right) = 0.4 \cdot 10^{10}$$

$$A = 0.4 \cdot 10^{10} \text{ dis / sec}$$

أي أن النشاط الإشعاعي الناتج من واحد جرام من الكوبالت تساوي تقريباً

$$0.4 \cdot 10^{10} \text{ dis / sec}$$

## ١٠- ٢ أسئلة عامة

- ١- أحسب ثابت الانحلال للنظائر المشعة التالية:
- أ-  $^{232}\text{Th}$  إذا كان فترة نصف العمر الزمني له  $1.4 \times 10^{10}$  سنة.
- ب-  $^{32}\text{P}$  إذا كان فترة نصف العمر الزمني له 14.3 يوم.
- ٢- أوجد العلاقة بين ثابت الانحلال وفترة نصف العمر الزمني ومتوسط العمر الزمني.
- ٣- أحسب النشاط الإشعاعي الناتج عن البلوتونيوم بعد مرور عدة أسابيع إذا كانت العينة النقية في البداية من اليورانيوم-٢٣٩ نشاطها الإشعاعي ٠,٥ كوري.
- ٤- نواة مشعة ثابت الانحلال لها  $\lambda$  وتنتج هذه النواة في مفاعل نووي بمعدل  $I$  أثبت أن عدد الأنوية الموجودة منها عند الزمن  $t$  يعطي من العلاقة  $N = \frac{I}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$ .
- ٥- إذا كانت كتلة ذرة الليثيوم  $^7\text{Li}$  تساوي (٧,٠١٦) وحدة كتل ذرية وكتلة ذرة البريليوم  $^7\text{Be}$  تساوي (٧,٠١٦٩٣) وحدة كتل ذرية. وضح أي من النواتين يمكن أن تتفكك منتجة النواة الأخرى ثم بين نوع العملية وأحسب طاقتها.
- ٦- يتحلل اليورانيوم  $^{234}\text{U}$  والذي له فترة نصف العمر الزمني  $247 \times 10^3$  سنة إلى ثوريوم  $^{230}\text{Th}$  وفترة نصف العمر الزمني له  $8 \times 10^4$  سنة والذي يتحلل إلى راديوم  $^{226}\text{Ra}$ . أحسب كتلة كل من اليورانيوم والثوريوم التي تكون موجودة في عينة من اليورانيوم النقي كتلتها ٢٠ جرام وبعد مضي ١٥٠ سنة عليها.