

النشاط الإشعاعي

2.1. أنواع التفكك الإشعاعي

النشاط الإشعاعي هو التفكك الطوعي (التلقائي) للنوى غير المستقرة وتشكل نوى أخرى مع انبعاث جسيمات عنصرية.

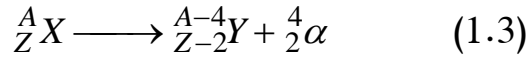
يُنسب النشاط الإشعاعي الطبيعي للنوى الموجودة في الظروف الطبيعية،

ويُنسب النشاط الإشعاعي الصناعي للنوى المحصول عليها صناعياً بنتيجة التفاعلات النووية. النواة الأولية تُسمى عادة النواة الأم، والنواة المتشكلة عنها بنتيجة التفكك تُسمى النواة البنت.

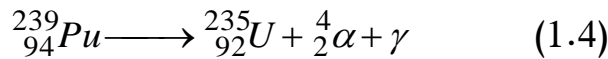
تتحقق قوانين انحفاظ الشحنة الكهربائية، العدد الكتلي، الطاقة الكلية والاندفاع من أجل أي نوع للتفكك.

إذا لم تظهر النواة البنت المتشكلة بنتيجة التفكك في الحالة الأساسية، فإنها تظهر في حالة طاقة مثارة، فإنها خلال أجزاء من الثانية تنتقل إلى الحالة الأساسية، وتعطي فائض الطاقة على شكل إشعاع γ .

التفكك - ألفا: ويترافق بإطلاق جسيمات α (نواة ذرة الهليوم ${}^4_2\text{He}$). وتتحول نواة العنصر X ذات العدد الذري Z والعدد الكتلي A إلى نواة العنصر الجديد Y وفق المخطط:



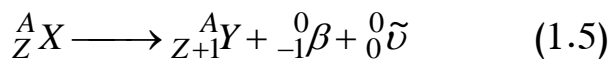
يمكن أن يرافق التفكك α إطلاق فوتون γ ، ومثالها تفكك α للبلوتونيوم:



يتميز تفكك α بطاقة حركية محددة لجسيمات α .

التفكك بيتا (تفكك β) يقسم إلى ثلاثة أنواع:

1. **الإلكترونوني، أو التفكك β^- .** وتُطلق النواة إلكترون، وتتشكل نواة لعنصر جديد بعدد ذري أكبر بواحد من العدد الذري للنواة الأم:



يُسمى $({}^0_0 \bar{\nu})$ ضدنيوترينو. يتشكل الإلكترون من خلال تحول النيوترون إلى بروتون داخل النواة:

$${}^1_0n \longrightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}\beta + {}^0_0\bar{\nu} \quad (1.5a)$$

الطاقة المنطلقة في التفكك الإلكتروني، تتوزع بشكل أساسي عشوائياً بين الإلكترون وضديد النترينو، ولذلك الطاقة الحركية لجسيمات β^- ، تأخذ جميع القيم الممكنة من 0 إلى E_{\max} ، وبناء عليه فطيف الطاقة الحركية لجسيمات β^- مستمر.

لدى كل عنصر مشع هناك قيمة معينة مميزة للطاقة القصوى E_{\max} لجسيمات β^- .

2. *التفكك البوزتروني*، أو تفكك β^+ ويرافقه انطلاق بوزترون (جسيم عنصري متساوي بالكتلة مع الإلكترون وبالقيمة المطلقة مع شحنة الإلكترون، ولكن شحنته الكهربائية إيجابية)، وتتشكل نواة لعنصر جديد، بعدد ذري أصغر بواحد من العدد الذري للنواة الأم، والنترينو:

$${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}\beta + {}^0_0\nu \quad (1.6)$$

طيف طاقة جسيمات β^+ مستمر. يتشكل البوزترون بنتيجة تحول البروتون داخل النواة إلى نوترون:

$${}^1_1p \longrightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}\beta + {}^0_0\nu \quad (1.6a)$$

مثال على هذا التفكك نذكر تحول الفوسفور إلى سيليسيوم:

$${}^{30}_{15}P \longrightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^0_{+1}\beta + {}^0_0\nu$$

يتلخص الفرق بين النترينو وضديد النترينو، بأن السبين والحركة لهما نفس الاتجاه لدى الجسيم الأول، ولدى الثاني اتجاهاً متعاكسان.

3. *القنص الإلكتروني (القنص - e)*. في هذه الحالة تلتقط النواة الإلكترون من إحدى الطبقات الداخلية لذرتها، والنتيجة يتحول البروتون في النواة إلى نوترون مع انطلاق نترينو:

$${}^1_1p + {}^0_{-1}\beta \longrightarrow {}^1_0n + {}^0_0\nu \quad (1.7)$$

وكمثال على القنص - e يمكن أن نذكر تحول البيريليوم إلى ليثيوم:

$${}^7_4Be + {}^0_{-1}\beta \longrightarrow {}^7_3Li + {}^0_0\nu$$

بما أنه في هذا النوع من التفكك الإشعاعي يصبح مكان الإلكترون فارغ في الطبقة الداخلية للذرة، فإن الإلكترونات تنتقل من الطبقات الذرية البعيدة إلى هذا المكان، ولذلك دائماً القنص e يرافقه إصدار الأشعة السينية المميزة.

4.1. القانون الأساسي للتفكك الإشعاعي. نشاط النوى المشعة

لا يمكن التنبؤ بالزمن الذي بانقضائه تتفكك نواة ذرة مشعة بعينها، ويمكن أن نُستنتج فقط احتمال هذا الحدث.

إذا كان لدينا مجموعة كبيرة من النوى N ، وبفرض أن عدد النوى المتفككة خلال الفترة الزمنية الصغيرة dt هو dN . فإن هذا العدد يتناسب مع الفترة الزمنية dt ومع العدد الكلي للنوى غير المتفككة N حتى اللحظة الزمنية المعطاة t . عندئذ المعادلة التفاضلية التي تصف عملية التفكك تأخذ الشكل الآتي:

$$dN = -\lambda N dt \quad (1.13)$$

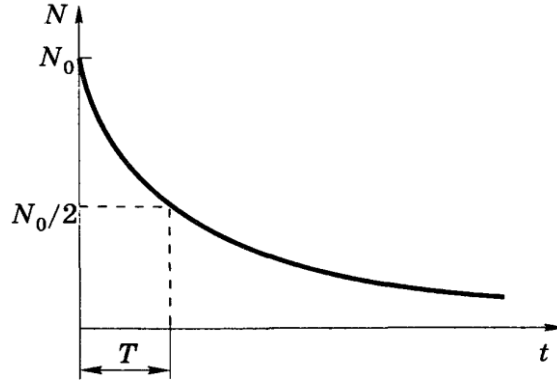
تشير الإشارة السالبة إلى تناقص عدد النوى غير المتفككة مع الزمن، ويرتبط معامل التناسب $\lambda (s^{-1})$ بنوع النواة المُشعة ويُسمى ثابتة التفكك الإشعاعي.

ندخل الشروط الأولية لهذه المعادلة، ونرمز من خلال N_0 ($t=0 \Rightarrow N=N_0$) لعدد النوى المشعة غير المتفككة في اللحظة الزمنية الأولية. بمراعاة هذه الشروط الأولية يأخذ حل المعادلة التفاضلية (13.1) الشكل الآتي:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.14)$$

وبالتالي، يشير قانون التفكك الإشعاعي إلى أن عدد نوى الذرات غير المتفككة ينقص وفق قانون أسي. ويتعين معدل التفكك بثابتة التفكك الإشعاعي λ التي تدخل في أس العلاقة (14.1) وترتبط فقط بنوع النواة.

يُستخدم مفهوم دور نصف التفكك T للإشارة إلى الزمن الذي بانقضائه يتفكك نصف العدد الأولي للنوى المشعة.



الشكل 4.1. تبعية عدد النوى غير المتفككة N للزمن t

لإيجاد الرابطة التحليلية بين ثابتة التفكك الإشعاعي λ وبين دور نصف التفكك T ، نعوض في المعادلة (14.1) $t = T$.

عندئذ $N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T}$ ، من هنا نحصل على $2 = e^{\lambda T}$ ، أو $\lambda T = \ln 2$ ومنه:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

تُقدر ثابتة التفكك λ بمقلوب الزمن، ويُقدر دور نصف التفكك بالثواني، الساعات، والسنوات.

يتميز التفكك الإشعاعي أيضاً بمتوسط زمن الحياة (العمر الوسطي) τ وهو الفترة الزمنية التي بانقضائها ينقص عدد النوى غير المتفككة بمقدار e مرة.

يرتبط العمر الوسطي τ بـ λ أو T بالعلاقة:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0,693} = 1,44T \quad (1.15)$$

1.4.1. نشاط المصادر المشعة. وحدات قياس النشاط

يُعين نشاط المنبع المشع معدل تفكك النوى المشعة فيه، ويُعرف النشاط بأنه عدد أحداث التفكك التي تحدث في المنبع خلال وحدة الزمن:

$$A = -\frac{dN_{dis}}{dt} = -\frac{dN}{dt} \quad (1.16)$$

بتعويض العبارتين (13.1) و (14.1) في الصيغة (16.1) نحصل على:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda (N_0 e^{-\lambda t}) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1.17)$$

حيث $A_0 = \lambda N_0$ - النشاط الأولي للعينة.

وعلى هذه الصورة:

$$A = \lambda N = 0,693 \frac{N}{T} \quad (1.18)$$

يتناسب نشاط المنبع المشع طردياً مع عدد النوى التي لم تتفكك حتى اللحظة الزمنية المعطاة. وكلما كان نشاط المنبع (العينة) أكبر، كلما كان دور نصف تفككها أصغر.

ينقص النشاط مع الزمن وفق نفس القانون الأسّي لتناقص عدد النوى غير المتفككة:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1.19)$$

وحدات قياس نشاط المنبع المشع:

إن وحدة قياس النشاط في جملة الوحدات الدولية هي البكريل Bq ، ويُعرف البكريل بأنه نشاط عينة (منبع) يحدث فيها تفكك واحد خلال ثانية واحدة.

وتُستخدم كثيراً واحدة من خارج جملة الوحدات الدولية وهي الكوري Ci ، يوافق الكوري نشاط 1 gr من الراديوم $^{226}_{88}Ra$ معزول عن نواتج تفككه: $1Ci = 3,7 \cdot 10^{10} Bq$.

يبلغ نشاط العبوات packages النموذجية للمواد المشعة المستخدمة في مخابر الأبحاث، ميكرو أو ميلي كوري تقريباً.

ماهي العلاقة بين كتلة منبع مشع m وبين نشاطه A ؟

يساوي عدد النوى غير المتفككة N كتلة هذه النوى m مقسومة على كتلة الذرة الواحدة m_A :

$$N = \frac{m}{m_A} = \frac{m}{M} N_A$$

حيث M - الكتلة المولية، و N_A - عدد أفوغادرو.

بتعويض هذه العبارة في الصيغة (18.1)، نجد العلاقة بين النشاط A والكتلة m ، والكتلة المولية M ودور نصف التفكك T للنوى المشعة:

$$A = \frac{0,693 N}{T} = \frac{0,693 m N_A}{T M} = \frac{0,693 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} m}{T M} = 4,17 \cdot 10^{23} \frac{m}{T M} \quad (1.20)$$

بالتعويض في هذه العبارة عن كتلة النوى المشعة m بالغرام وبالكتلة الذرية M بالغرام/مول،
وقيمة دور نصف التفكك T بالثانية، نحصل على النشاط مقدراً بالبكريل.

وبالعكس، بمعرفة نشاط المنبع المشع يمكن إيجاد كتلته:

$$m = 2,4 \cdot 10^{-24} \text{ ATM}$$

مثال:

عين نعين نشاط 1 gr من ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ ($T = 1600 \text{ y} = 5,04 \cdot 10^{10} \text{ s}$):

$$A = \frac{4,17 \cdot 10^{23}}{226 \times 5,04 \cdot 10^{10} \text{ s}} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$$

النشاط النوعي للمنبع المشع:

بما أن نشاط العينة يتناسب طردياً مع كتلتها، لذلك لوصف التلوث الإشعاعي بالمواد المشعة
(مثلاً، المنتجات الغذائية الصلبة)، نعرف النشاط النوعي الكتلي $A_m = A/m \text{ (Bq/kg)}$ ، وهو
نسبة نشاط المنتج إلى كتلته.

إذا كانت العينة المدروسة سائلة أو غازية (كالماء أو الهواء)، فيُعبّر عن محتوى النوى المشعة
فيها بواسطة النشاط النوعي الحجمي $A_V = A/V \text{ (Bq/m}^3, \text{ Ci/l)}$ ، وهو نسبة نشاط المنبع
المشع إلى حجمه.

النشاط النوعي السطحي ويُستخدم لتقدير التلوث السطحي بالنوى المشعة وهو نسبة نشاط النوى
المشعة الموجود على سطح معين S إلى مساحة هذا السطح: $A_S = A/S$. ووحدة قياسه
صغيرة جداً Bq/m^2 ، ولذلك في خرائط التلوث الإشعاعي، يُعطى التلوث بالنوى المشعة من
أجل مساحات كبيرة مقدراً بوحدة Ci/km^2 .

يُستخدم مفهوم النشاط النوعي بشكل واسع لتقدير درجة التلوث بالنوى المشعة: للبيئة، المنتجات
الغذائية، الماء، الصناعة وللأشياء الأخرى.

التكنسيوم:

هو معدن مشع بلون رمادي فضي يشابه بالشكل البلاتين. ويتم الحصول عليه عادة على شكل
مسحوق رمادي.

يُستخدم التكنسيوم $^{99m}_{42}\text{Tc}$ عنصراً مشعاً، يتم حقنه في المريض عن طريق الوريد، ويتم وسم التكنسيوم بمادة صيدلانية مناسبة تختلف باختلاف العضو المراد تصويره، فمثلاً يربط التكنسيوم بالسيستامبي في حالة فحوصات القلب أو الغدة الدرقية.

بعد حقن المريض بالمادة الصيدلانية المشعة يتم تصوير المريض بواسطة غاما كاميرا الخاصة بتسجيل أشعة غاما المنبعثة من التكنسيوم من خلال جسم المريض.

يُستخدم التكنسيوم في التطبيقات الطبية بسبب عمر نصفه الإشعاعي المناسب ($T = 6,01h$) وطاقة فوتونات غاما المناسبة التي تصدر عنه ($E_\gamma = 140keV$).

يوجد على الأقل 31 مادة صيدلانية مشعة مُستخدمة بشكل واسع تعتمد على التكنسيوم في التصوير والفحوصات الوظيفية للأعضاء مثل: الدماغ، القلب، الغدة الدرقية، الرئتين، الكبد، المرارة، الكليتين، العظام، الدم والأورام.

مثال:

لدينا عينة مشعة من التكنسيوم $^{99m}_{42}\text{Tc}$ حجمها 10cm^3 ونشاطها 10^7Bq ، وبفرض أن ثابتة التفكك الإشعاعي لهذا النظير هي $\lambda = 6,01h$ ، وأن طاقة فوتون غاما هي $E_\gamma = 140keV$

$$1- \text{النشاط النوعي لهذه العينة } a_v = \frac{A}{V} = \frac{10^7\text{Bq}}{10\text{cm}^3} = 10^6\text{Bq/cm}^3$$

2- عدد النوى المشعة في هذه العينة:

$$\text{ثابتة التفكك الإشعاعي: } \lambda = 6,01h = 6,01 \times 3600 = 21636\text{s}^{-1}$$

$$A_0 = \lambda N_0 \Rightarrow N_0 = \frac{A}{\lambda} = \frac{10^7\text{Bq}}{6,01 \cdot 3600\text{s}} = 4,62 \cdot 10^2 \text{ نواة}$$

3- عدد النوى المشعة غير المتفككة خلال زمن يساوي عمر النصف:

$$N_T = \frac{N_0}{2} = \frac{4,62 \cdot 10^2}{2} = 2,31 \cdot 10^2 \text{ نواة}$$

4- عدد النوى المتفككة خلال زمن يساوي عمر النصف:

$$\Delta N_T = N_0 - N_T = 2,31 \cdot 10^2 \text{ نواة}$$

5- عدد فوتونات غاما المنطلقة من العينة خلال زمن يساوي عمر النصف:

$$N_{\gamma} = N_0 - N_T = 2,31 \cdot 10^2 \text{ فوتون}$$

6- الطاقة التي تحملها فوتونات غاما المنطلقة من العينة خلال زمن يساوي عمر النصف:

$$E_{\gamma} = N_{\gamma} \times 140 \text{ keV} = 2,31 \cdot 10^2 \times 140 = 3,24 \cdot 10^4 \text{ keV} = 32,4 \text{ MeV}$$

7- بفرض أن طاقة فوتونات غاما تتوزع بانتظام على كامل حجم دم جسم الإنسان (5 لتر) فإن الطاقة المنقولة لوحدة حجم الدم خلال زمن يساوي عمر النصف:

$$\frac{E_{\gamma}}{V} = \frac{32,4 \text{ MeV}}{5 \times 1000 \text{ cm}^3} = 0,065 \text{ MeV/cm}^3$$

يشكل الدم 8% من كتلة الجسم. فإذا كانت كتلة شخص ما 60 كغم مثلاً، فإن 4.8 كغم منها دم (أي نحو 5 لتر).

أي أن 5 لتر من الدم تقابل وزن شخص 60 kg ومنه:

النشاط النوعي لوحدة كتلة جسم الإنسان خلال لحظة حقن المادة المشعة (تكنسيوم)

$$a_m = \frac{A}{m} = \frac{10^7 \text{ Bq}}{60 \text{ kg}} = 1,67 \times 10^5 \text{ Bq/kg}$$

2.4.1. نشاط النوى المشعة في الجسم الحي

يرتبط تأثير فوتونات γ والجسيمات التي تنشأ عن تفكك النوى المشعة، في الكائنات البيولوجية، بالمقام الأول بعدد التفككات خلال واحدة الزمن، أي بنشاطها في الجسم الحي.

يتناقص عدد النوى المشعة الموجودة في الجسم بنتيجة عمليتين:

الأولى تفككها الإشعاعي، والثانية إخراجها البيولوجي من الجسم.

تتميز عمليات الإخراج البيولوجي بثابتة الإخراج البيولوجي λ_b أو دور نصف الإخراج البيولوجي T_b ، وهو الزمن الذي بانقضائه تنقص بمرتين كمية النوى المشعة في الجسم (أو العضو) فقط بنتيجة الإخراج منه، علماً أن $T_b = \ln 2 / \lambda_b$.

وفي هذه الحالة تأخذ المعادلة التفاضلية، التي تصف تناقص dN للنوى المشعة في الجسم الحي خلال زمن صغير dt ، الشكل:

$$dN = -(\lambda_d + \lambda_b) N dt = -\lambda_{ef} N dt \quad (1.21)$$

حيث $\lambda_{ef} = \lambda_d + \lambda_b$ هي ثابتة التفكك الفعالة، وتساوي مجموع ثابتة تفكك النوى المشعة λ_d وثابتة إخراجها البيولوجي λ_b .

يقود حل المعادلة التفاضلية (21.1) إلى صيغة مشابهة لقانون تناقص عدد النوى المشع غير المتفككة في الجسم الحي (14.1):

$$N = N_0 e^{-\lambda_{ef} t} \quad (1.22)$$

بإدخال الدور البيولوجي الفعال لنصف الإخراج T_{ef} الذي بانقضائه ينقص عدد النوى المشعة غير المتفككة بمرتين، وبمراعاة أن $\lambda_{ef} = \frac{\ln 2}{T_{ef}}$ نحصل على:

$$\frac{\ln 2}{T_{ef}} = \frac{\ln 2}{T_d} + \frac{\ln 2}{T_b} \Rightarrow \frac{1}{T_{ef}} = \frac{1}{T_d} + \frac{1}{T_b}$$

وبالتالي:

$$T_{ef} = \frac{T_d \times T_b}{T_d + T_b} \quad (1.23)$$

تدل هذه الصيغة، أن T_{ef} دائماً أصغر من أصغر المقدارين T_d و T_b .

مثلاً في حالة اليود ^{131}I يبلغ دور نصف التفكك الإشعاعي $T_d = 8 \text{ day}$ ، والدور البيولوجي لنصف الإخراج $T_b = 138 \text{ day}$ ، أي أن $T_d \ll T_b$ ، وبموجب العلاقة (23.1) فإن $T_{ef} = 7,56 \text{ day}$ ، أي أنه يتطابق مع T_d ولكن يبقى عملياً أصغر منه.

بالعكس إذا كان $T_d \gg T_b$ فإن T_{ef} يتعين من دور نصف الإخراج البيولوجي T_b . ومثاله السيزيوم ^{137}Cs الذي دور نصف تفككه 30 سنة، ودور نصف الإخراج تقريباً 70 يوم.

إذا كان عدد النوى المشعة الأولية الداخلة إلى الجسم هو N_0 ، فإن نشاطها في الجسم بمراعاة (22.1) يتغير وفق القانون:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda_{ef} N = \frac{0,693}{T_{ef}} N_0 e^{-\lambda_{ef} t} \quad (1.24)$$

بالتعبير عن عدد النوى الأولي N_0 من خلال كتلة النوى المشعة m ، والكتلة المولية M وعدد

أفوغادرو $N_A : N_A = \frac{m}{M} N_A$ ، وبمراعاة أن $\lambda_{ef} = \frac{\ln 2}{T_{ef}}$ ، نحصل على:

$$A = \frac{0,693m}{T_{ef} M} N_A e^{-(\ln 2/T_{ef})t} = \frac{0,693m}{T_{ef} M} N_A 2^{-t/T_{ef}} \quad (1.25)$$

من الواضح أن نشاط النوى المشعة في الجسم يتناسب طردياً مع كتلتها m ، وعكساً مع T_{ef} وأن الحد الأسي يتناقص مع الزمن.

يمكن بسهولة كشف التلوث الإشعاعي للبيئة بالنوى المشعة التي تتفكك بإطلاق فوتونات γ ، لأن فوتونات γ تتمتع بمقدرة عالية على النفوذ، وتنتشر في الهواء إلى مئات الأمتار وتلتقطها الأجهزة بسهولة.

إن كشف التلوث الإشعاعي للبيئة بالنوى المشعة، التي لا تطلق فوتونات γ ، وخاصة السترونسيوم $^{90}_{38}\text{Sr}$ أعقد بكثير، لأن تسجيل أشعة β معقد أكثر من كشف أشعة γ .
إذاً:

إن بعض النظائر المشعة المصطنعة يمكن الحصول عليها من قضبان الوقود النووي المستنفذ (المستهلك) في المفاعلات النووية، والتي تحوي على العديد من المنتجات الانشطارية. مثلاً، يقدر بأنه حتى عام 1994، تم إنتاج حوالي 49,000 طن بيكريل (78 طن متري) من التكنسيوم في المفاعلات النووية المختلفة، والتي بذلك تكون أكبر مصدر للتكنسيوم في هذا الكون.

تستخدم النظائر المشعة المصطنعة في الطب النووي من أجل تشخيص الأمراض مثل النظير المشع المصطنع للتكنسيوم Tc-99m .

تنتج بعض النظائر المشعة المصطنعة من تعريض النظائر الأم إلى إشعاع نتروني في المفاعلات النووية (مثلاً ينتج Tc-97 من الإشعاع النيوتروني لـ Ru-96)، أو بقذف النظائر الأم من جسيمات عالية الطاقة من مسرعات الجسيمات. [

توجد النظائر المشعة في ثلاث مجموعات:

نظائر مشعة أساسية مثل اليورانيوم-233 واليورانيوم-235 واليورانيوم-238 وتوجد في الطبيعة بنسب مختلفة. كذلك توجد نظائر الثوريوم طبيعياً ومنها الثوريوم-232 والثوريوم-234 وتأتي جزء منها من باطن النجوم ولأن عمرها طويل فهي لا زالت موجودة.

نظائر مشعة ثانوية تنشأ عن النظائر المشعة الأساسية ويكون عمرها أقصر.

نظائر مشعة كونية تنشأ بشكل متواصل في الجو المحيط بسبب الاشعة الكونية، مثال ذلك كربون-14. وكذلك تتولد النظائر الثقيلة في المستعرات العظمى وتنتشر في الفضاء.

يمكن تحضير النظائر صناعياً بواسطة التفاعلات النووية لاستخدامها في الطب والصناعة والمراكز العلمية. يجري ذلك في مسرعات الجسيمات أو في مولدات النظائر المشعة في مفاعل نووي صغير.

لا تختلف النظائر المشعة سواء كانت طبيعية أم صناعية. وعموماً يمكن الحصول على جميع أنواع النظائر بالطرق الصناعية النووية. ومنذ بداية عصر استخدام الطاقة النووية زادت أعداد النظائر المشعة، ومنها مثلاً كميات الكربون-14، ونظير الهيدروجين الثقيل (3_1H) ويسمى تريتيوم، كما نشأت نظائر البلوتونيوم وهو لا يوجد في الطبيعة وإنما يُصنع في المفاعلات النووية.

وتستعمل النظائر المشعة في مجالات عديدة منها:

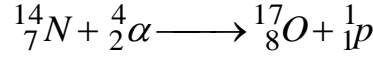
1. اقتفاء سير التفاعلات الكيميائية ودراسة حركيتها.
2. في الكيمياء الحيوية لتقدير مدى استفادة الأحياء من غذاء معين وذلك بإعطائه غذاء يحتوي عنصر مشع ويقف أثر العنصر المشع بكاشف للإشعاع حتى وصوله إلى غايته وبذلك يقدر مدى استفادة جسم الكائن من الغذاء.
3. في الطب: التشخيص الطبي، والعلاج الإشعاعي (الداخلي والخارجي) باليود المشع مثلاً لمعالجة الأورام السرطانية وذلك من خلال إعطاء المريض مادة مشعة تقضي على الورم، وتعرض المريض لأشعة الكوبالت أو لأشعة صادرة عن مسرع للجسيمات.
4. في تقدير عمر الأشياء القديمة فقد قدر عمر الأرض من معرفة معدل الإشعاع في اليورانيوم والرصاص. كما قدرت أعمار الأمم البائدة وذلك من الإشعاع الناتج من الكربون-14 المتبقي على قطعة خشب أو قماش من تلك العهود.

التفاعلات النووية البسيطة والحصول على النوى المشعة

التفاعل النووي هو التأثير المتبادل لنواة الذرة مع نواة أخرى أو مع جسيم عنصري مع تشكل نواة لعنصر آخر وجسيم عنصري آخر.

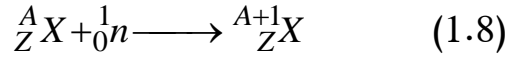
الطرق الأساسية للحصول على النوى المشعة:

1. قذف النوى الذرية بجسيمات عنصرية مشحونة. نفذ رذرفورد أول تفاعل النووي من هذا النوع عندما قذف نوى الآزوت بجسيمات- ألفا:

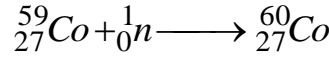


2. التنشيط النتروني. يمكن الحصول على النوى المشعة بكميات كبيرة نسبياً في المفاعلات النووية عن طريق تشيع نوى العناصر المستقرة بالنترونات (التنشيط النتروني).

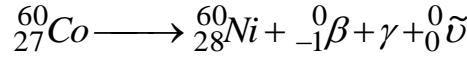
وبامتصاص النترون تتحول النواة المستقرة إلى نواة مشعة لنفس العنصر:



وبهذه الطريقة يمكن الحصول على نظير الكوبالت ${}^{60}_{27}Co$ الواسع الاستخدام في ميدان الطب:



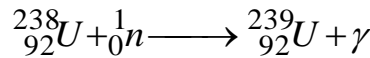
الذي بدوره يخضع للتفكك الإلكتروني ويعطي نظير النيكل ${}^{60}_{28}Ni$:



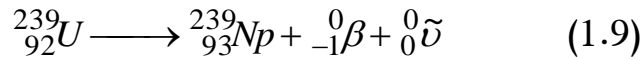
تظهر نواة النيكل المتشكلة عن التفاعل السابق في حالة مثارة. ويرافق انتقالها إلى الحالة الأساسية انطلاق فوتون لأشعة- γ التي تستخدم في العلاج الإشعاعي للتأثير على الأورام السرطانية.

3. فصل النوى المشعة من قضبان الوقود المستنفذ في المفاعلات النووية. ومثال ذلك

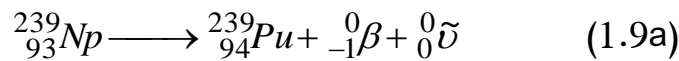
الحصول على ${}^{239}_{94}Pu$ في المفاعل النووي. ويحدث تحول جزء من اليورانيوم في المفاعل إلى بلوتونيوم وفق عدة مراحل. عند تشيع ${}^{238}_{92}U$ بالنترونات يتشكل ${}^{239}_{92}U$:



الذي من خلال التفكك الإلكتروني يتحول إلى نواة النظير المشع نبتونيوم:



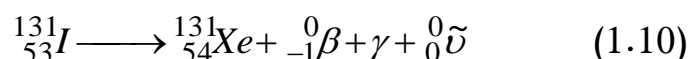
ومن ثم تتحول النواة المشعة نبتونيوم إلى نواة البلوتونيوم:



لدى البلوتونيوم $^{239}_{94}Pu$ دور نصف تفكك كبير، وفي حالة وصوله إلى البيئة المحيطة (نتيجة حادثة في المفاعل مثلاً)، فإنه يسبب تلوثها الإشعاعي الخطير جداً ولفترة زمنية طويلة من خلال نشاطه الإشعاعي - α .

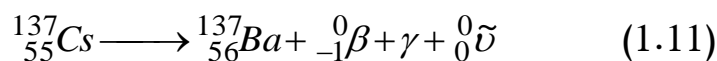
نذكر أمثلة على تفكك - β للعناصر المشعة الأساسية، التي سببت بتلوث إشعاعي محسوس للبيئة بعد كارثة محطة تشرنوبل النووية.

في اللحظات الأولى بعد الكارثة أسهم اليود بشكل رئيسي في النشاط الإشعاعي الإجمالي، الذي يتفكك مع انبعاث فوتونات - غاما بطاقة $0,72MeV$



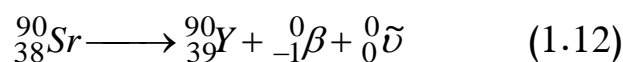
الطاقة القصوى للإلكترونات المتشكلة في هذا التفكك، تساوي $0,81MeV$. بما أن معدل تفكك اليود كبير (لذا خلال 8 أيام تفكك نصف نوى اليود تقريباً)، لذا كان له أكبر نشاط إشعاعي أولي، ويمكن الكشف عنه بسهولة من شدة انبعاث - γ والعدد الكبير للإلكترونات المنبعثة خلال واحدة الزمن. خلال عدة أشهر بعد الكارثة تفكك كل اليود تقريباً.

تفكك السيزيوم المشع $^{137}_{55}Cs$ يرافقه انبعاث فوتونات - γ بطاقة $0,66MeV$ وبطاقة قصوى للإلكترونات $1,18MeV$:

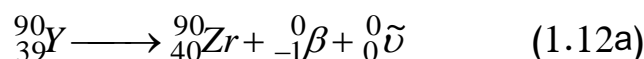


معدل تفكك النواة $^{137}_{55}Cs$ أخفض من معدل تفكك $^{131}_{53}I$ ، ونصف نوى السيزيوم $^{137}_{55}Cs$ يتفكك خلال 30 سنة تقريباً.

لا يرافق تفكك السترونسيوم المشع $^{90}_{38}Sr$ انبعاث فوتونات - γ ، لذا فكشف هذا النظير أعقد بكثير، من حالة اليود أو السيزيوم المشع:



نواة الإيتريوم المتشكلة في هذه العملية أيضاً غير مستقرة وبعد تفكك إلكترونات تتحول إلى نواة الزركونيوم المستقرة:



متلازمة الإشعاع الحادة

متلازمة الإشعاع الحادة (يرمز لها Acute Radiation Syndrome ARS)، والذي يعرف أحيانا بالتسمم الإشعاعي أو المرض الإشعاعي، هو مرض حاد ينتج عن تعرض كامل الجسم (أو أغلب الجسم) إلى جرعة عالية من الإشعاع في وقت قصير جداً (عادة لعدة دقائق). السبب الرئيسي لهذه المتلازمة هو نضوب الخلايا المتتية السلاقية غير الناضجة في أنسجة معينة في جسم الإنسان. أمثلة على الأفراد الذين عانوا من متلازمة الإشعاع الحادة ويقوا على قيد الحياة هم ناجوا قنابل هيروشيما ونجازاكي الذرية، ورجال الإطفاء الذين تعرضوا للإشعاع أثناء إطفاء حريق محطة تشيرنوبل للطاقة النووية في عام 1986.

شروط حدوث متلازمة الإشعاع الحادة

- إذا كانت جرعة الإشعاع كبيرة [أعلى من 0.7 جراي (Gy) أو 70 rads].
- الأعراض المعتدلة قد تلاحظ بالجرع المنخفضة، أقل من 0.3 Gy أو 30 rads.
- إذا كانت الجرعة من خارج الجسم (أي أن مصدر الإشعاع من خارج جسم المريض).
- المواد المشعة التي تتراكم داخل الجسم تؤدي إلى متلازمة الإشعاع الحادة، إذ لا مفر للجسم من تأثيراتها الضارة.
- إذا كانت طاقة الإشعاع عالية أي قادرة على اختراق الجسم والوصول إلى الأعضاء الداخلية.
- الأشعة السينية ذات الطاقة العالية، أشعة غاما، والنترونات هي إشعاعات قادرة على الاختراق.
- إذا تعرض كامل الجسم للأشعة (أو جزء كبير منه وليست الأطراف مثلا).
- في معظم الأحيان تكون إصابات الإشعاع مركزة على مناطق محدودة من الجسم، مثل الأيدي، في تلك الحالات نادرا ما تسبب هذه الإصابات في متلازمة الإشعاع الحادة.
- إذا كان التعرض للإشعاع قد حدث خلال مدة قصيرة (عادة مسألة دقائق أو ساعات)، حيث لا يتوفر للجسم زمن كاف لتصحيح الضرر الناتج عن الإشعاع تلقائيا.
- جُرَع الإشعاع المجزئة تستعمل في أغلب الأحيان في العلاج الإشعاعي. هذه الجرعة تطلق على الجسم بكميات صغيرة يوميا على أجزاء محدودة من الجسم وموزعة على فترة زمنية طويلة. الجرعة المجزئة لها قدرة محدودة للتسبب بمتلازمة الإشعاع الحادة. تلك الجرعات تحاول تمويت الخلايا السرطانية بدون اصابات مميتة للخلايا السليمة، فتموت الخلايا السرطانية أما خلايا الجسم التي أصابها شيئا من الإشعاع فهي تصحح نفسها بنفسها بمساعدة بقية الجسم. (بتطبيق ضرورة كون العلاج بالإشعاع نفعه أكبر من ضرره).

أنواع المتلازمة

- متلازمة نخاع العظم Bone marrow syndrome:

المتلازمة الكاملة تحدث عادة عند جرعة بين 0.7 و 10 Gy، أعراض معتدلة قد تظهر عند جرعة منخفضة مثل 0.3 Gy أو 30 rads.

نسبة بقاء المرضى بهذه المتلازمة تتخفف بزيادة الجرعة. إنَّ السبب الأساسي للموت هو دمار نخاع العظم، مما يؤدي إلى الالتهابات والنزف.

- متلازمة معوية Gastrointestinal syndrome:

المتلازمة الكاملة تحدث عادة عند جرعة أعلى من 10 Gy بالرغم من أن بعض الأعراض قد تظهر عند جرعة منخفضة حتى 6 Gy أو 600 rads.

البقاء على قيد الحياة غير محتمل للمصاب بهذه المتلازمة. تتسبب في تغييرات مدمرة ومنتعزة الإصلاح. يحدث الموت عادة خلال أسبوعين.

- متلازمة قلبية وعائية (سي في) / متلازمة النظام العصبي المركزي (CV) / Cardiovascular (CV) syndrome (CNS) Central Nervous System syndrome:

المتلازمة الكاملة تحدث عادة عند جرعة أعلى من 50 Gy بالرغم من أن بعض الأعراض قد تظهر عند جرعة منخفضة حتى 20 Gy أو 2000 rads.

الموت يحدث خلال 3 أيام، بسبب انهيار جهاز الدوران بالإضافة إلى الضغط المتزايد في السائل العصبي بسبب التهابات السحايا.

مراحل الإصابة الأربعة

- مرحلة الأعراض الأولى (إن في دي):

الأعراض الكلاسيكية لهذه المرحلة: غثيان، تقيئ، بالإضافة إلى فقدان الشهية ومن المحتمل الإصابة بالإسهال (اعتمادا على الجرعة). الأعراض قد تدوم من عدة دقائق إلى عدة أيام.

- المرحلة المستترة:

في هذه المرحلة، يبدو المريض بصحة جيدة بشكل عام وتستمر من بضعة ساعات وحتى بضعة أسابيع.

- مرحلة المرض الظاهرة:

في هذه المرحلة، تعتمد الأعراض على نوع المتلازمة وتمتدّ من عدة ساعات إلى عدّة شهور.

- الشفاء أو الموت:

معظم المرضى لا يتعافون ويموتون خلال عدّة شهور من التعرّض. أما من ينجو فستأخذ عملية الشفاء منه مدة قد تمتد إلى السنتين.