في هذا الدرس يجب أن :
1 - أعرف مدلول الرمز $_Z^AX$.
2 - أعرف معنى النظير وأحفظ بعض الأمثلة .
3 - أحدّد الأنوية المستقرة وغير المستقرة اعتمادا على مخطط سيقري (Segrè) .
4 - أعرف معنى نواة مشعّة .
5 - أتعرف على خصائص الجسيمات التي نصادفها في هذا الدرس : النوترون ، البروتون ، الإلكترون ، البوزيترون (البوزيتون) .
6 - أعرف معنى ظاهرة التناقص الاشعاعي وخصائصها .
7 - أعرف خصائص الجسيمات α ، β^- ، β^+ ، والاشعاع γ ، وأكتب معادلة تحول نووي وأطبق فيها قانوني صودي للانحفاظ .
8 - أعرف قانون التناقص الاشعاعي $N = f(t)$.
9 - أعرف معنى النشاط الإشعاعي A ووحدة قياسه .
10 - أعرف معنى ثابت الزمن وزمن نصف العمر وكيفية استنتاجهما من منحنى التناقص .
11 - أعرف كيفية استخدام ظاهرة النشاط الإشعاعي في التأريخ .

ملخّص الدرس

النشاط الإشعاعي :
- النشاط الإشعاعي هو ظاهرة تلقائية وعشوائية ، سببها تحوّل أنوية غير مستقرّة لإعطـاء أنوية أكثر استقرارا وانبعاث جسيمات .
- كل تحوّل نووي يخضع إلى انحفاظ الشحنة الكهربائية وعدد النوكليونات والطـاقة .

أنواع التفككات :

يوجد ثلاثة أنواع للتفكّكات النووية هي :
- **التفكّك α** : الجسيم الصادر هو نواة الهيليوم $({}_2^4He^{2+})$. هذا التفكّك خاص عادة بالأنوية الثقيلة .
- **التفكّك β^-** : الجسيم الصادر هو إلكترون $({}_{-1}^{0}e)$. هذا التفكّك خاص بالأنوية التي تحتوي على عدد أكبر من النوترونات بالنسبة لبروتوناتها .
- **التفكّك β^+** : الجسيم الصادر هو بوزيتون $({}_1^0e)$. هذا التفكّك خاص بالأنوية التي تحتوي على عدد أكبر من البروتونات بالنسبة لنوتروناتها .
- **الإشعـاع γ** : هو إشعـاع كهرومغناطيسي (فوتونات قاما) ، يرافق عادة التفكّكات السابقة .

معادلات التفككات :

$$\alpha : {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$$
$$\beta^- : {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e$$
$$\beta^+ : {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{1}^{0}e$$

التناقص الاشعاعي :
- النشاط الإشعاعي ظاهرة عشوائية ، لا يمكن دراسة تطورها إنفراديا ، بل نستعمل مجموعة كبيرة من الأنوية لنتكلم عن المتوسط .
- التّغيّر ΔN لعدد الأنوية المشعّة بين اللحظتين t و $t + \Delta t$ يتعلّق بطبيعة النواة وعدد الأنوية عند اللحظة t والمدّة الزمنية Δt .
- قـانون التناقص هو $N = N_0\, e^{-\lambda t}$ ، حيث N_0 هو عدد الأنوية في اللحظة $t = 0$ ، λ : ثابت التفكّك .
- النشـاط A لمـادة مشعّة هو عدد للتفكّكات في وحدة الزمن $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$. عدد موجب يُقاس بـ (Becquerel) رمزه Bq .

الثابت الإشعاعي (λ) (ثابت التفكّك) :

يتعلّق بطبيعة النواة ، ولا يتعلّق بالزمن . يُقاس بـ s^{-1} .

الثابت الزمني (τ) (ثابت الزمن) :

هو الزمن اللازم لتفكك 63% من العدد الابتدائي للأنوية $\tau = \frac{1}{\lambda}$

زمن نصف العمر $(t_{1/2})$:

هو الزمن اللازم لتفكك نصف العدد الابتدائي للأنوية $t_{1/2} = \frac{ln2}{\lambda} = \tau\, ln2$

بطاقة ريــاضية

1 - الدالة الأسّية :

الدالة الأسية ذات الأساس a هي دالة معرفة بالعلاقة $f(x) = a^x$ ، يسمى a الأساس ، وهو عدد حقيقي موجب . $a \neq 0$ ، $a \neq 1$

إذا كان $a = e$ نسمي اختصارا الدالة : **الدالة الأسية** ، حيث $e = 2{,}718..$ ، ونكتب $f(x) = e^x$.

مشتق الدالة الأسية : إذا كانت $f(x) = e^{bx}$ ، حيث b عدد حقيقي فإن $f'(x) = b\, e^{bx}$.

$\lim_{x \to +\infty} e^x = +\infty$ ، $\lim_{x \to -\infty} e^x = 0$

2 - الدالة اللوغاريتمية :

نسمّي الدالة اللوغاريتمية ذات الأساس a ، حيث $a \in R_+^* - \{1\}$ ، الدالة $Log_a x$ ، المعرّفة بـ $Lo_a x = \frac{lnx}{lna}$ ، $\forall x \in R_+^*$

إذا كان $a = e$ نسمي اللوغاريتم نيبيريا ونكتب : $f(x) = lnx$. $f'(x) = \frac{1}{x}$

3 - خواص اللوغاريتم :

$ln 1 = 0$ ، $ln\, e = 1$ ، $ln(a \times b) = lna + lnb$ ، $ln\frac{a}{b} = lna - lnb$ ، $lne^b = b$

على الآلة الحاسبة نستعمل الزّر ***ln*** لحساب اللوغاريتم النيبري لعدد وليس الزّر ***log***

الدرس

1 – عموميات :

1 – 1 - نواة الذرة :

تتكوّن نواة ذرة من جسيمات تسمّى النوكليونات $(nucléons)$ ، هي البروتونات والنوترونات .

نمثّل النواة بالشكل ^A_ZX ، حيث X هو العنصر ، Z : عدد البروتونات (الرقم الذرّي) ، A العدد الكتلي (يمثّل عدد النوكليونات) ، أما عدد النوترونات فهو $N = A - Z$

مثال : النواة $^{23}_{11}Na$ تحتوي على 11 بروتون و 12 نوترون .

1 – 2 - النظائر : مجموعة من الذرات لنفس العنصر (أي نفس العدد Z) ، تختلف في العدد الكتلي A ، أي في عدد النوترونات .

بعض نظائر الأكسوجين : $^{16}_{8}O$ ، $^{17}_{8}O$ ، $^{18}_{8}O$. بعض نظائر الكلور : $^{35}_{17}Cl$ ، $^{36}_{17}Cl$ ، $^{37}_{17}Cl$.

1 – 3 - الجسيمات التي نصادفها في هذا الدرس :

الجسيم	البروتون ^1_1p	النوترون ^1_0n	الإلكترون $^0_{-1}e$	البوزيترون ^0_1e
الكتلة (kg)	$1{,}673 \times 10^{-27}$	$1{,}675 \times 10^{-27}$	$9{,}1 \times 10^{-31}$	$9{,}1 \times 10^{-31}$
الشحنة (C)	$1{,}602 \times 10^{-19}$	0	$-1{,}602 \times 10^{-19}$	$1{,}602 \times 10^{-19}$

ينتج البوزيتون جرّاء التحول المتواصل داخل النواة للبروتونات إلى نوترونات : $^1_1p \to {}^1_0n + {}^0_1e$

أمـا عندما يتحول نوترون إلى بروتون ينبعث إلكترون : $^1_0n \to {}^1_1p + {}^0_{-1}e$

1 – 4 - نصف قطر النواة :

يُعطى نصف قطر النواة بالعلاقة : $R = r_0\sqrt[3]{A}$ ، حيث R هو نصف قطر النواة و A العدد الكتلي ، و r_0 هو ثابت بالنسبة لكل الأنوية .

يُعطى $r_0 = 1{,}3\, fm$ $(1fm = 1 \times 10^{-15}\, m)$

مثال : نصف قطر نواة الصوديوم $^{23}_{11}Na$ هو : $R = 1{,}3\sqrt[3]{23} = 3{,}7\, fm$

2 – النشاط الإشعاعي :

النواة النشيطة إشعاعيا هي نواة غير مستقرة ، وهي نواة تتفكّك عاجلا أو آجلا عشوائيا بواسطة تحوّل نووي تلقائي لإعطاء نواة أكثر استقرارا .

أثناء هذا التحول تصدر النواة جسيمات : α ، β^- ، β^+ .

النشاط الاشعاعي ظاهرة يحدث فيها تحوّل أنوية إلى أنوية أخرى وصدور جسيمات .

نسمّي النواة المتفككة : **النواة الأم** ، ونسمّي النواة الناتجة : **النواة البنت** .

يوجد حوالي 350 نواة طبيعية ، منها حوالي 60 نواة غير مستقرة . أما الأنوية الاصطناعية فكلها غير مستقرّة .

2 – 1 - قانونا الانحفاظ لصودي :

في كل تحوّل نووي يُحفَظ مــا يلي :

- الشحنة الكهربائية
- عدد النوكليونــات
- الطــاقة

$${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$$

في هذا التحوّل يمكن أن يكون X نواة أو جسيما (بروتون ، نوترون ...) ، بحيث يتحقق الانحفاظ :

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \quad \text{و} \quad Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

2 – 2 - التفكّك α :

نقول : التفكّك ألفا ، ونقول كذلك الجسيمات ألفا ، ونقصد بها أنوية الهيليوم ${}^4_2He^{2+}$ ، ونكتبها ${}^4_2He$ ، ونقصد بها النواة وليس الذرة .

$${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$$

في هذا التحوّل ينقص عدد البروتونات بـ 2 ، ولدينا : عدد النوترونات قبل التحول هو $N = A - Z$ ، أما بعد التحول فيكون عدد النوترونات $N' = A - 4 - (Z - 2) = A - Z - 2 = N - 2$ ، إذن عدد النوترونات نقُصَ بـ 2 كذلك .

في التفكّك α تفقد النواة $2p$ و $2n$

مثال : ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^4_2He$

2 – 3 - التفكّك β^- :

في هذا التفكّك يتحوّل نوترون إلى بروتون وينبعث إلكترون ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^{0}_{-1}e$.

$${}^A_ZX \rightarrow {}_{Z+1}{}^{A}Y + {}^{0}_{-1}e$$

في هذا التحوّل يزداد عدد البروتونات بـ 1 ، ولدينا : $N' = A - (Z + 1) = (A - Z) - 1 = N - 1$ ، أي عدد النوترونات نقُصَ بـ 1

أما العدد الكتلي A لا يتغيّر .

مثال : ${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + {}^{0}_{-1}e$

2 – 4 - التفكّك β^+ :

في هذا التحوّل ينقص عدد البروتونات بـ 1 ، ولدينا : $N' = A - (Z - 1) = (A - Z) + 1 = N + 1$ ، أي عدد النوترونات يزداد بـ 1

أما العدد الكتلي A لا يتغيّر .

مثال : ${}^{12}_7N \rightarrow {}^{12}_6C + {}^0_1e$

2 – 5 – الاشعــاع γ :

يرافق هذا الإشعاع عادة كل التفككات السابقة ، حيث تكون النواة البنت في حـالة طاقوية مثـارة ، فتصدر إشعاعا γ (طاقة كهرومغناطيسية) لتستقر . نمثل النواة المثارة بإضافة (نجمة) X^* .

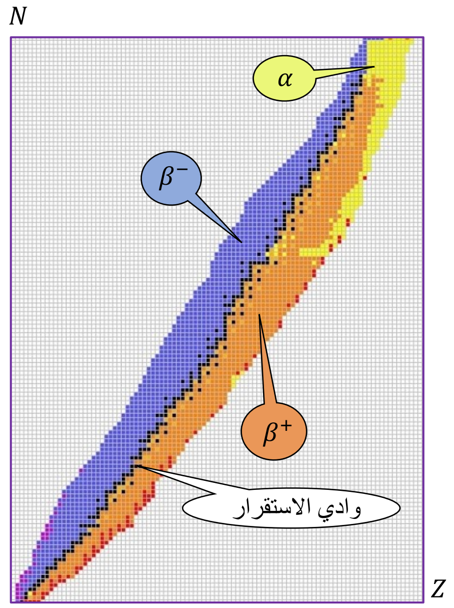
الإشعاع γ عبارة عن فوتونات عـالية التواتر (أكبر من $10^{18}Hz$)

$${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$$ ، حيث ${}^A_ZX^*$ هي النواة البنت في حالة مثارة و ${}^A_ZX$ النواة البنت في حالة غير مثارة .

مثـال : ${}^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{24}_{12}Mg^* + {}^{0}_{-1}e$ ، ثم ${}^{24}_{12}Mg^* \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + \gamma$ أو نكتبها مباشرة ${}^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{0}_{-1}e + \gamma$

3 – مخطط Segrè

في هذا المخطط نجد على الفواصل الرقم الذري Z (عدد البروتونات في النواة) وعلى التراتيب عدد النوترونات N .

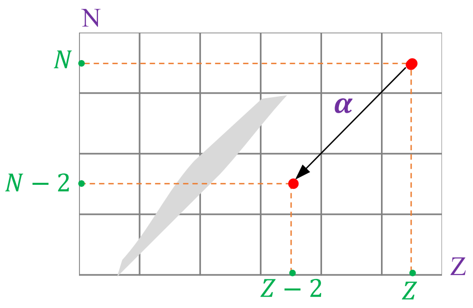


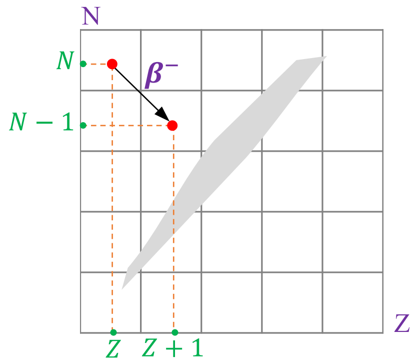
ملاحظة : يمكن في التمارين أن تصادف Z أو A على التراتيب .

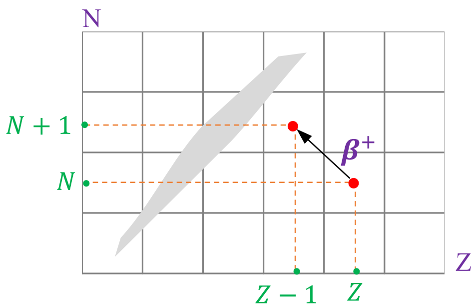
المستقيم الذي معادلته $N = Z$ ، إلى غاية $Z = 20$ يسمى مستقيم الإستقرار ، معنى هذا أن الأنوية القريبة من هذا المستقيم تكون أكثر إستقرارا .

- الأنوية التي عدد نوكليوناتها مرتفع تتفكك بالنمط α .
- الأنوية التي فيها فائض من النوترونات تتفكّك بالنمط β^- .
- الأنوية التي فيها فائض من البروتونات تتفكّك بالنمط β^+

الانتقال النووي للتفكّكات α و β على مخطط سيقري :







4 – قانون التناقص الإشعـاعي :

إن تفكّك الأنوية هي ظاهرة عشوائية محضة ، حيث لا يمكن التنبؤ باستمرار تفكّك نواة أو توقفها عن ذلك . لهذا لا يمكن دراسة الأنوية انفراديا كما تعودنا ذلك في دراسة تطور التفاعلات الكيميائية .
إذن دراسة تفكّك الأنوية هي دراسة إحصائية ، معنى هذا أنها تعتمد على القيم المتوسطة ، أي ندرس عينة من الأنوية ونعمّم الدراسة على كل الأنوية مجتمعة .

4 – 1 - قـانون Soddy :

ليكن N_0 عدد الأنوية في عيّنة مشعة عند اللحظة $t = 0$. يصبح هذا العدد N عند اللحظة t .
يمكن بواسطة جهاز يلتقط الإشعاعات الصادرة عن تفكّك الأنوية أن نتابع تطوّر تفكك هذه الأنوية .
ليكن ΔN التغير في عدد الأنوية خلال المدة الزمنية Δt . إن هذا التغير يتناسب مع :

- N : عدد الأنوية عند اللحظة t .
- ΔN : التغير في عدد الأنوية خلال المدّة Δt
- λ : الثابت الإشعـاعي .

وبالتالي $\Delta N = -\lambda N \Delta t$ (ΔN سالب ، لأن عدد الأنوية يتناقص ، $\Delta N = N_2 - N_1$ ، ولدينا $N_2 < N_1$)

$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$ ، وفي مدة زمنية صغيرة بما فيه الكفاية يكون $\Delta t = dt$ ، ونكتب $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ، أي : $\frac{dN}{N} = -\lambda\, dt$ (1)

إن الدالة $f(x)$ التي نشتقها ونجد $\frac{f'(x)}{f(x)}$ هي الدالة $\ln f(x) + C$ ، حيث C : عدد حقيقي .

إذن العلاقة (1) تصبح على الشكل : $\ln N = -\lambda t + C$ (2)

لكي نحدّد عبارة الثابت C ، لدينا عند اللحظة $t = 0$ يكون عدد الأنوية N_0 ، وبالتعويض في العلاقة (2) : $\ln N_0 = -\lambda \times 0 + C$

أي $C = \ln N_0$ ، وبالتالي $\ln N = -\lambda t + \ln N_0$

$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$ ، أي $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$ ، ومنه $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$ ، أي $N = N_0 e^{-\lambda t}$ (3)

4 – 2 – الثابت الاشعاعي (λ) :

يتعلق هذا الثابت بطبيعة النواة فقط ، فمثلا الثابت الاشعاعي لليورانيوم $^{235}_{92}U$ يختلف عن الثابت الاشعاعي لليورانيوم $^{234}_{92}U$.
بما أن N و N_0 مجرّدان من الوحدة (عدد الأنوية) إذن $e^{-\lambda t}$ مجرّد من الوحدة كذلك ، أي أن λt ليس له وحدة ، إذن يجب أن تكون وحدة λ هي مقلوب الثانية (s^{-1}) .

4 – 3 - زمن نصف العمر (الدور) :

هو الزمن اللازم لكي يتغيّر عدد الأنوية من N_0 إلى $\frac{N_0}{2}$ ، أي الزمن اللازم لتفكّك نصف العدد الابتدائي للأنوية .
بالتعويض في العلاقة (3) نكتب : $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda \times t_{1/2}}$ ، ومنه : $\frac{1}{2} = e^{-\lambda \times t_{1/2}}$ ، وبإدخال اللوغاريتم على طرفي المعادلة :

$-\ln 2 = -\lambda\, t_{1/2}$ ، ومنه : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ ، ولدينا $\ln 2 = 0{,}69$.

زمن نصف العمر يتعلّق فقط بطبيعة النواة ، ويقاس بالثانية ، ونعبّر عنه كذلك بالساعات والأيام والشهور والسنوات .

$^{13}_{5}B$: 17 ميلي ثانية ، $^{25}_{11}Na$: 1دقيقة ، $^{24}_{11}Na$: 15ساعة ، $^{234}_{90}Th$: 24 يوم ، $^{234}_{92}U$: 245 ألف سنة

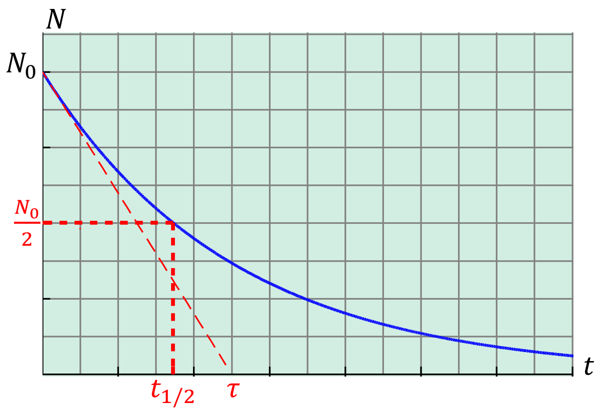
4 – 4 - ثابت الزمن (τ):

هو الزمن اللازم لتفكك 63% من العدد الابتدائي للأنوية ، وهو مقلوب الثابت الاشعــاعي (تُقبل بدون برهان) .

ويُقاس بالثانية (s) $\tau = \frac{1}{\lambda}$

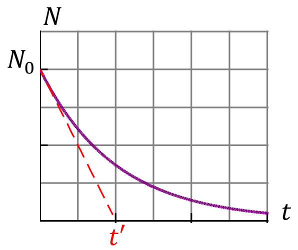
4 – 5 – التمثيل البياني $N = f(t)$:

t	0	$t_{1/2}$	τ	5τ	∞
N	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$0,37N_0$	$\approx 0,01N_0$	0



يقطع المماس للبيان عند $t = 0$ محور الزمن في $t' = \tau$

البرهان :



ميل المماس : $a = -\frac{N_0}{t'}$

وكذلك ميل المماس : $a = \frac{dN}{dt}/_{t=0}$

$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{\lambda t}$ و $\frac{dN}{dt}/_{t=0} = -\lambda N_0$

وبالتالي $-\frac{N_0}{t'} = -\lambda N_0$ ، ومنه : $t' = \frac{1}{\lambda} = \tau$

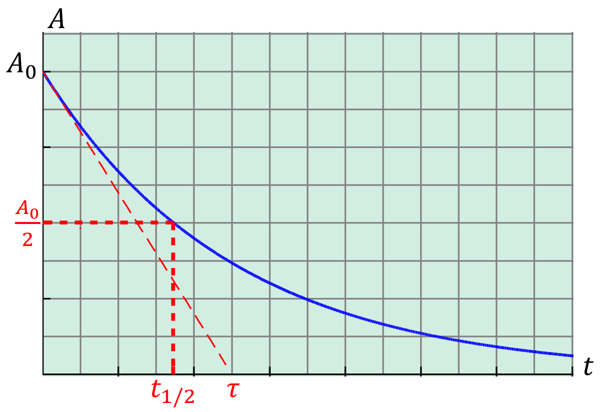
5 – النشاط A :

النشاط هو عدد التفككات في الثانية (وحدة الزمن) ، وهو عدد موجب (لأن ΔN سالب) . $\quad A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \quad (4)$

ويقاس بـ $Becquerel\ (Bq)$ ، الذي يكافئ مقلوب الثانية (s^{-1}) .

توجد وحدة أخرى هي $Curie\ (Ci)$ **غير مستعملة في البرنامج** . $\quad 1Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$

يُقاس النشاط الإشعاعي بواسطة جهاز يسمى مقياس جيجر $(Geiger)$ ، حيث لما نقرّب هذا الجهاز من عينة مشعّة تحدث الاشعاعات المنبعثة منها أصواتا داخل الجهاز ، فيعتمد على عدّ هذه الأصوات في تحديد نشاط العيّنة .



نعوّض في العلاقة (4) ΔN بعبارتها : $A = -\left(-\frac{\lambda N\,\Delta t}{\Delta t}\right) = \lambda N$.

$A = \lambda N$

لدينا $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ، وبالتالي : $A = A_0 e^{-\lambda t}$

6 – تأثير الإشعاعات على المادة الحية :

باستطاعة الإشعاعات ، إذا كانت معتبرة أن تؤثر على خلايا الجسم ، حيث بإمكانها أن تشرّد المـادة وتخرّب الخلايا وتحويلها إلى خلايا سرطانية ، ويزداد هذا الخطر كلما كان منبع الإشعاع أكثر نشاط . (تجد التفاصيل في كتابك) .

7 – في المجال الطبي :

يمكن استغلال طاقة النشاط الإشعاعي في تدمير الخلايا السرطانية في الجسم . يُستعمل عادة اليود 131 الذي يُشع β^- والذي يوافق زمن نصف عمر يقدّر بـ 8 أيام . وتستعمل الاشعاعات قاما لتحديد أماكن الأورام في جسم المريض . (التفاصيل في كتابك) .

8 - في مجال التأريخ

يُستعمل النشاط الإشعاعي في تحديد عمر الكواكب والبراكين والزلازل والمواد ذات المنشأ الحيواني والنباتي ، ذلك إما بتحديد النسبة بين النشاط الابتدائي للعينة ونشاطها الحالي ، أو مقارنة عدد الأنوية الأم مع عدد الأنوية البنت .

8 – 1 - تقدير عمر الصخور :

نجد النسبة بين عدد أنوية البوتاسيوم 40والأرغون 40 .

بواسطة عمر الصخور نستطيع بالتقريب معرفة تاريخ آخر انفجار بركان ، كيف ذلك ؟

نعلم أن الصخور تحتوي على النظير المشع $^{40}_{19}K$ الذي يتفكك إلى الأرغون 40 المستقر $^{40}_{18}Ar$ بزمن نصف عمر قدره حوالي 1,3 مليار سنة . الأرغون عبارة عن غاز أحادي الذرة .

لمّا ينفجر البركان وتذوب الصخور فإن غاز الأرغون ينطلق في الجو ، لكن بمجرد أن يخمد البركان وتبرد الصخور وتصبح صلبة فإن كل غاز الأرغون الناتج عن تفكك البوتاسيوم يبقى محجوزا داخل مسامات الصخور .

عندما نحلّل عينة من صخرة موجودة أمام بركان ننزع الشوائب منها ونزن كتلة البوتاسيوم 40 وحجم غاز الأرغون 40 ونقوم بالحسابات التـالية :
عدد أنوية البوتاسيوم 40 عند اللحظة t : $N_K = \frac{m_K}{40} \times N_A$ ، حيث m_K هي كتلة ${}^{40}_{19}K$ و N_A هو عدد أفوقادرو .
عدد أنوية الأرغون 40 في اللحظة t : $N_{Ar} = \frac{V_{Ar}}{V_M} \times N_A$ ، حيث V_{Ar} هو حجم ${}^{40}_{18}Ar$ ، و V_M الحجم المولي للغازات .
عدد أنوية البوتاسيوم عند اللحظة $t = 0$: (أي تاريخ آخر انفجار للبركان) ، مع العلم أن المدة التي يبقى فيها البركان ثائرا لا نأخذها بعين الاعتبار في التأريخ ، لأن أولا هذه المدّة قصيرة وثانيا أن التأريخ تقريبي .
هذا العدد هو $N_{0K} = N_K + N_{Ar}$ ، وبتطبيق علاقة التناقص نكتب : $\boldsymbol{N_K = (N_K + N_{Ar})\, e^{-\lambda t}}$ (5)
حيث λ هو الثابت الإشعـاعي للبوتاسيوم 40 .
ندخل اللوغاريتم النبيري على طرفي العلاقة (5) ونحسب قيمة الزمن t . إن هذا الزمن هو عمر الصخرة التي أخذنا منها العينة ، وبذلك نستطيع إيجاد تاريخ آخر انفجار لهذا البركان (t') : $t' = 2020 - t$ ، إذا قمنا بالعملية في 2020 .
يمكن إيجاد النسبة بين عدد أنوية البوتاسيوم 40 والأرغون 40 ، حيث : $N_{Ar} = N_{0K} - N_K$ (6)
ولدينا $N_{0K} = \frac{N_K}{e^{-\lambda t}} = N_K e^{\lambda t}$ ، وبالتعويض في (6) : $N_{Ar} = N_K\, e^{\lambda t} - N_K = N_K\left(\, e^{\lambda t} - 1\right)$
وبالتالي : $\frac{N_{Ar}}{N_K} = e^{\lambda t} - 1$ ، ومنه $e^{\lambda t} = \frac{N_{Ar}}{N_K} + 1$ ، وبادخال اللوغاريتم النبيري على الطرفين : $\boldsymbol{t = \frac{1}{\lambda} ln\left(\frac{N_{Ar}}{N_K} + 1\right)}$
بواسطة تحديد عمر الصخور يمكن معرفة العمر التقريبي للكواكب التي أخذت منها .

8 – 2 - تحديد عمر مادة حيّة بعد موتها (مثلا عظم حيوان) :

وجد علماء الآثار قطعة من عظم حيوان في مغارة قديمة وأرادوا أن يتعرّفوا على تاريخ وفاة هذا الحيوان .
العمل الذي نقوم به :
نقوم بتنقية عيّنة من العظم ونحتفظ فقط بالفحم الموجود فيها (هذه العملية كيميائية بحتة) . لتكن كتلة العيّنة النقيّة هي m .
يجب أن نعلم أن في هذه العينة يوجد النظائر ${}^{12}_{6}C$ ، ${}^{13}_{6}C$ ، ${}^{14}_{6}C$ ، حيث أن ${}^{12}_{6}C$ و ${}^{13}_{6}C$ مستقرّان أما ${}^{14}_{6}C$ فهو نظير مشعّ ، حيث أنه يتفكك حسب النمط β^- : ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$.
نحسب عدد أنوية ${}^{12}_{6}C$ في العيّنة ، حيث نهمل عدد أنوية ${}^{13}_{6}C$ و ${}^{14}_{6}C$ بسبب نُدرة وجودها في العيّنة ونكتب : $N_{12} = \frac{m}{12} \times N_A$
ونعلم أن في أنسجة الكائن الحي توجد كل نظائر الكربون السابقة الذكر ، فكلّما تناقص النظير ${}^{14}_{6}C$ من هذه الأنسجة يعوّضه الكائن عن طريق التنفس وعمليات معقّدة أخرى ، فهناك نسبة ثابتة في كل الكائنات الحيّة بين عدد أنوية ${}^{14}_{6}C$ و ${}^{12}_{6}C$ وهي : $\boldsymbol{\frac{N_{14}}{N_{12}} \approx 1,2 \times 10^{-12}}$ (7)
بمجرّد أن يموت الكائن تشرع هذه النسبة في التناقص (انقطاع التنفّس) ، لأن ${}^{14}_{6}C$ يشرع في التفكك بدون أن يُعوّض ، أما النظير ${}^{12}_{6}C$ عدد أنويته لا يتغيّر لأنه مستقر إشعاعيا .
باستعمال النسبة (7) نستنتج عدد أنوية ${}^{14}_{6}C$ في العيّنة في اللحظة التي مات فيها الحيوان ، والتي كنّا قد أهملناها أمام عدد أنوية ${}^{12}_{6}C$ عندما قمنا بحساب ${}^{12}_{6}C$ ، حيث : $N_{14} = 1{,}2 \times 10^{-12} \times N_{12}$ ، وهذا العدد يمثّل $N_{0,14}$.
أما لحساب عدد أنوية ${}^{14}_{6}C$ في العينة لحظة العثور على العظم ، يجب أن نقوم بقياس نشاطها A ، والذي يكون ناتجا عن تفكك الكربون 14 .
$N_{14} = \frac{A}{\lambda}$ ، ثم نطبق علاقة التناقص الاشعاعي : $N_{14} = N_{0,14}\, e^{-\lambda t}$ ، ونحصل على العمر: $\boldsymbol{t = \frac{1}{\lambda} \times ln \frac{N_{0,14}}{N_{14}}}$
ملاحظة : يمكن أن نحسب نشاط الكربون 14 لحظة وفاة الحيوان ، بأن نأتي بعظم حديث مماثل للعظم الذي وجدناه وله نفس الكتلة ، ونقوم بقياس نشاطه الناتج عن تفكك الكربون 14 (A_0) ، ونطبق قانون التناقص ، ونستنتج العمر : $\boldsymbol{t = \frac{1}{\lambda} \times ln \frac{A_0}{A}}$

8 – 3 - تحديد عمر بحيرة جوفية :

أثناء التنقيب عن البترول صادف المهندسون بحيرة مائية تحت سطح الأرض ، فأراد علماء الفيزياء معرفة عمر هذه البحيرة ، أي الزمن الفاصل بين تشكل البحيرة إلى أن عثر عليها مهندسو البترول (طبعا التاريخ تقريبي) .
نعلم أن الماء يحتوي على الكلور ، ومن بين نظائر الكلور المشعة هو ${}^{36}_{17}Cl$.
حيث أن الماء السطحي الموجود بجوار البحيرة (ماء الآبار مثلا) يحتوي على نسبة ثابتة من ${}^{36}_{17}Cl$ ، لأنه يتجدد بفعل تلامسه الدائم مع الجو ، لكن بمجرد أن يصبح الماء محجوزا في البحيرة فإن ${}^{36}_{17}Cl$ لا يتجدّد لأنه لا يلامس الجو .
العمل الذي نقوم به :
نأخذ عيّنة من ماء البحيرة ونكشف بواسطة مقياس جيجر عن نشاط ${}^{36}_{17}Cl$ فيها ، وليكن هذا النشاط هو A .
نأخذ عيّنة مماثلة من ماء سطحي بجوار البحيرة ونقوم بقياس نشاط ${}^{36}_{17}Cl$ فيها . إن هذا النشاط هو النشاط الابتدائي A_0 لعيّنة ماء البحيرة .
ليكن $t_{1/2}$ هوزمن نصف عمر ${}^{36}_{17}Cl$ ، فبتطبيق قانون التناقص الاشعاعي نجد عمر البحيرة : $\boldsymbol{t = \frac{t_{1/2}}{ln2} \times ln \frac{A_0}{A}}$
ملاحظة : عادة نحدّد عمر الأرض أو عمر صخور قديمة جدا باستغلال النسبة بين عدد أنوية اليورانيوم 238 والرصاص 206 من التفكك : ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + 8\,{}^{4}_{2}He + 6\,{}^{0}_{-1}e$ ، وذلك من العلاقة $\boldsymbol{t = \frac{1}{\lambda} ln\left(\frac{N_{Pb}}{N_U} + 1\right)}$ ، حيث λ هو ثابت تفكّك اليورانيوم 238 .