أكاديمية الوريد للعلوم الفيزيائية

التحوّلات النووية

الدرس الأول



## ملخّص الدرس

في هذا الدرس يجب أن:

1 - أعرف مدلول الرمز $^{A}_{Z}X$ .
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 ظاهرة التناقص الاشعاعي وخصائصها.
7 - أعرف خصائص الجسيمات α ، $\beta^-$ ، $\beta^+$ ، والاشعاع $\gamma$ ، 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.

### النشاط الإشعاعي:

- النشاط الإشعاعي هو ظاهرة تلقائية وعشوائية، سببها تحوّل أنوية غير مستقرّة لإعطاء أنوية أكثر استقرارا وانبعاث جسيمات.
- في كل تحوّل نووي يُحفظ: الشحنة الكهربائية وعدد النوكليونات والطاقة.

### أنواع التفككات:

يوجد ثلاثة أنواع للتفكّكات النووية هي:

- **التفكّك $\alpha$** : الجسيم الصادر هو نواة الهيليوم ($^{4}_{2}He^{2+}$) . هذا التفكّك خاص عادة بالأنوية الثقيلة.
- **التفكّك $\beta^-$** : الجسيم الصادر هو إلكترون ($^{0}_{-1}e$) . هذا التفكّك خاص عموما بالأنوية التي تحتوي على عدد أكبر من النوترونات بالنسبة لبروتوناتها.
- **التفكّك $\beta^+$** : الجسيم الصادر هو بوزيتون ($^{0}_{1}e$) . هذا التفكّك خاص عموما بالأنوية التي تحتوي على عدد أكبر من البروتونات بالنسبة لنوتروناتها.
- **الإشعاع γ** : هو إشعاع كهرومغناطيسي (فوتونات قاما)، يرافق عادة التفككات السابقة.

### معادلات التفككات :

$\alpha$ : $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$

$\beta^-$ : $^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}^{0}_{-1}e$

$\beta^+$ : $^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}^{0}_{1}e$

### التناقص الاشعاعي:

- النشاط الإشعاعي ظاهرة عشوائية، لا يمكن دراسة تطورها انفراديا ، بل نستعمل مجموعة كبيرة من الأنوية لنتكلم عن المتوسط.
- التغيّر $\Delta N$ لعدد الأنوية المشعّة بين اللحظتين $t$ هو $t+\Delta t$ يتعلّق بطبيعة النواة وعدد الأنوية عند اللحظة $t$ والمدّة الزمنية $\Delta t$ .
- قانون التناقص هو $N = N_0\, e^{-\lambda t}$ ، حيث $N_0$ هو عدد الأنوية عند اللحظة $t = 0$ ، $\lambda$ : ثابت التفكك.
- النشـاط $A$ لعيّنة مشعّة هو عدد للتفككات 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 ($\tau$) (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 رياضية**

**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: **الدالّة الأسية**، حيث $e = 2,718..$ ، ونكتب $f(x) = e^x$ .

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

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

**2 - الدالة اللوغاريتمية:**

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

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

**3 - خواص اللوغاريتم:**

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

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 الأكسجين: $^{16}_{8}O$ ، $^{17}_{8}O$ ، $^{18}_{8}O$ . 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 : $^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e$

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

### 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 ، $\beta^-$ ، $\beta^+$ .

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 مستقرة.**

### 2 - 1 - قانونا الانحفاظ لصودي:

في كل تحوّل نووي يُحفَظ ما يلي: الشحنة الكهربائية، عدد النوكليونات، الطاقة.

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

يمكن أن يكون $X$ نواة أو جسيما (بروتون، نوترون، نوترون ...)، بحيث يتحقق الانحفاظ: $\boldsymbol{A_1 + A_2 = A_3 + A_4}$ و $\boldsymbol{Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4}$

### 2 - 2 - التفكّك $\alpha$ :

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 نقُص بـ 2 كذلك.

في التفكّك α تفقد النواة $2p$ و $2n$

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

### 2 - 3 - التفكّك $\beta^-$ :

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

في هذا التحوّل يزداد عدد البروتونات بـ 1، ولدينا: $N' = A - (Z + 1) = (A - Z) - 1 = N - 1$ ، أي عدد النوترونات نقُص بـ 1، أما العدد الكتلي $A$ لا يتغيّر.

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

### 2 - 4 - التفكّك $\beta^+$ :

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 - الاشعاع $\gamma$ :

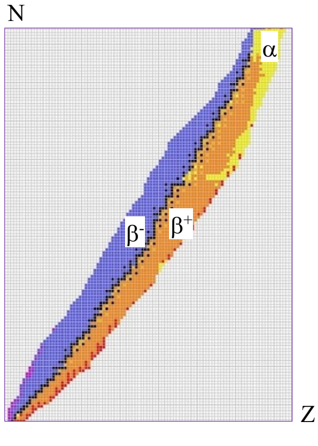
يرافق هذا الإشعاع عادة كل التفككات السابقة، حيث تكون النواة البنت في حالة طاقوية مثارة، فتصدر إشعاعا γ (طاقة كهرومغناطيسية) لكي تستقر. نمثل النواة المثارة بإضافة (نجمة) $X^*$ .

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

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

**مثال:** $^{24}_{11}Na \rightarrow ^{24}_{12}Mg^* + ^{0}_{-1}e$ ، 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 :



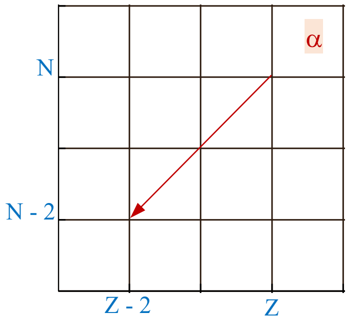

في هذا المخطط نجد على الفواصل الرقم الذري $Z$ وعلى التراتيب عدد النوترونات $N$ .

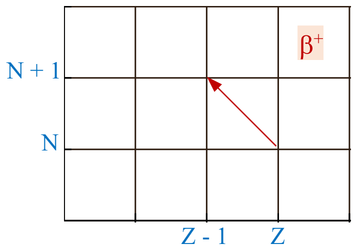
**ملاحظة:** يمكن في التمارين أن تصادف $Z$ أو $A$ على التراتيب مثلا.

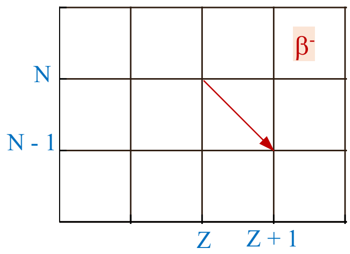
المستقيم الذي معادلته $N = Z$ ، إلى غاية حوالي $Z = 20$ يسمى مستقيم الاستقرار، معنى هذا أن الأنوية القريبة من هذا المستقيم تكون أكثر استقرارا. بصفة عامّة:

- الأنوية التي عدد نوكليوناتها مرتفع تتفكك بالنمط $\alpha$ .
- الأنوية التي فيها فائض من النوترونات تتفكك بالنمط $\beta^-$ .
- الأنوية التي فيها فائض من البروتونات تتفكّك بالنمط $\beta^+$

الانتقال النووي للتفكّكات α و β على مخطط سيقري:




### 4 - قانون التناقص الإشعاعي:

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 التحوّلات 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 - قانون 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 $\Delta N$ التغير في عدد الأنوية خلال المدة الزمنية $\Delta t$ . إن هذا التغير يتناسب مع:

- $N$ : عدد الأنوية عند اللحظة $t$ .
- $\Delta N$ : التغير في عدد الأنوية خلال المدّة $\Delta t$
- $\lambda$ : الثابت الإشعاعي.

وبالتالي $\Delta N = -\lambda N \Delta t$ ($\Delta N$ 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 ($\lambda$):

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 $\lambda t$ ليس له وحدة، إذن يجب أن تكون وحدة $\lambda$ 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.

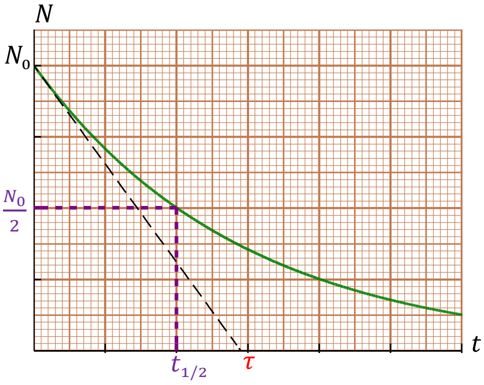
$^{13}_{5}B$ : 17 ميلي ثانية ، $^{25}_{11}Na$ : 1 دقيقة ، $^{24}_{11}Na$ : 15 ساعة ، $^{234}_{90}Th$ : 24 يوم ، $^{234}_{92}U$ : 245 سنة

### 4 - 4 - ثابت الزمن $(\tau)$:

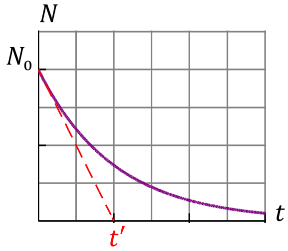
هو الزمن اللازم لتفكك 63% من العدد الابتدائي للأنوية، وهو مقلوب الثابت الاشعـاعي (تُقبل بدون برهان).

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

### 4 - 5 - التمثيل البياني $N = f(t)$:




| $t$ | $0$ | $t_{1/2}$ | $\tau$ | $5\tau$ | $\infty$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $N$ | $N_0$ | $\frac{N_0}{2}$ | $0,37N_0$ | $\approx 0,01N_0$ | $0$ |




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: $t' = \frac{1}{\lambda} = \tau$

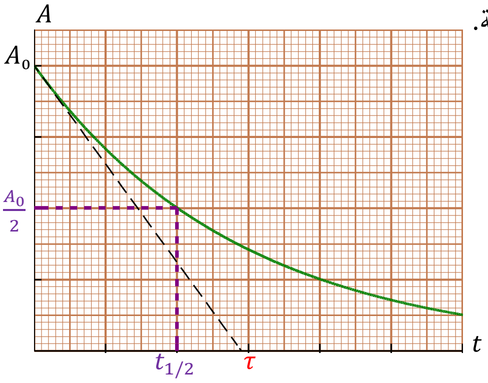
### 5 - النشاط A :

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

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

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

يُقاس النشاط الإشعاعي بواسطة جهاز يسمّى 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) $\Delta N$ بعبارتها: $A = -\left(-\frac{\lambda N\, \Delta t}{\Delta t}\right) = \lambda N$ .

$\boldsymbol{A = \lambda N}$

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

### 6 - تأثير الإشعاعات على المادة الحية:

باستطاعة الإشعاعات، إذا كانت معتبرة أن تؤثر على خلايا الجسم، حيث بإمكانها أن تشرّد المادة وتخرّب الخلايا وتحويلها إلى خلايا سرطانية، ويزداد هذا الخطر كلما كان منبع الإشعاع أكثر نشاطا. (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 $\beta^-$ 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: (في التدرّجات مكتوب: التأريخ بالكربون 14)

نجد النسبة بين عدد أنوية البوتاسيوم 40 والأرغون 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. عندما 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 نتزع الشوائب منها ونزن كتلة البوتاسيوم 40 وحجم غاز الأرغون 40 ونقوم بالحسابات التالية:

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 عند 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 الإشعاعي 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 $(t')$ : $t' = 2025 - t$ ، إذا قمنا بالعملية في 2025 .

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) : $N_{Ar} = N_K\, e^{\lambda t} - N_K = N_K(\ e^{\lambda t} - 1)$

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 معارة قديمة وأرادوا أن يحدّدوا بشكل تقريبي تاريخ موت 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 $\beta^-$ : $^{14}_{6}C \rightarrow {^{14}_{7}N} + {^{0}_{-1}e}$ .

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 عند اللحظة التي مات فيها الحيوان، والتي كنّا قد أهملناها أمام عدد أنوية $^{12}_{6}C$ عندما قمنا بحساب عدد أنوية $^{12}_{6}C$ ، 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 ($A_0$) الناتج عن تفكك الكربون 14، ونطبق قانون التناقص، ونستنتج العمر: $t = \frac{1}{\lambda} \times ln \frac{A_0}{A}$

**8 - 3 - تحديد عمر بحيرة جوفية:**

أثناء التنقيب عن البترول صادف المهندسون بحيرة مائية تحت سطح الأرض، فأراد علماء الفيزياء معرفة عمْر 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 باستمرار 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 أو بطريقة أخرى أكثر دقّة، 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 : $t = \frac{t_{1/2}}{ln2} \times ln \frac{A_0}{A}$

**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 $t = \frac{1}{\lambda} ln\left(\frac{N_{Pb}}{N_U} + 1\right)$ ، حيث $\lambda$ هو ثابت تفكّك اليورانيوم 238 .