



الثانية باكوريا
الفيزياء

التناقص الإشعاعي

Décroissance radioactive

الجزء الثاني :
التحولات النووية
الوحدة 1
4 س

1- استقرار و عدم استقرار النوى :

1-1- تركيب النواة :

تتكون نواة ذرة من نوترونات وبروتونات تسمى **نويات** .

تمثل نواة ذرة لعنصر كيميائي بالرمز : ${}^A_Z X$ حيث :

A : **عدد الكتلة** و يمثل عدد النويات (بروتونات و نوترونات)

Z : **عدد الشحنة** ويمثل عدد البروتونات

ونرمز لعدد النوترونات ب N مع $N = A - Z$

1-2- النويدات :

في الفيزياء الذرية ، يطلق اسم **النوييدة** على مجموعة من النوى تتميز بعدد معين من النوترونات والبروتونات .

لنواة نوييدة نفس **عدد الكتلة** A و نفس **عدد الشحنة** Z . وتعرف نوييدة X بكيفية تامة بإعطاء A و Z ، فنكتب ${}^A_Z X$.

مثال : ${}^{12}_6 C$ و ${}^{14}_6 C$ نوييدتان لعنصر الكربون ${}^{235}_{92} U$ و ${}^{238}_{92} U$ نوييدتان لعنصر الأورانيوم .

1-3- العنصر الكيميائي :

العنصر الكيميائي اسم يطلق على مجموعة الذرات والأيونات التي لها نفس عدد البروتونات .

1-4- النظائر :

نسمى **النظائر** لعنصر كيميائي النويدات التي لها نفس **عدد البروتونات** وتختلف من حيث **عدد النوترونات** (عدد الكتلة A) .

مثال : ${}^{12}_6 C$ و ${}^{14}_6 C$

ملحوظة : نعرف **الوفرة الطبيعية** θ_i للنظائر بالنسبة المئوية لكتلة كل نظير m_i في الخليط الطبيعي

ذوي الكتلة m حيث : $m = \sum m_i \theta_i$.

1-5- أبعاد النواة :

ننمذج نواة الذرة بكرية شعاعها r يتغير مع عدد الكتلة A حسب التعبير التالي :

$$r = r_0 A^{1/3} \quad \text{مع} \quad r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} m \quad \text{شعاع ذرة الهيدروجين.}$$

القيمة التقريبية للكتلة الحجمية للنواة هي : $\rho = \frac{A \cdot m}{V} = \frac{A \cdot m}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{A \cdot m}{\frac{4}{3}\pi (r_0 A^{1/3})^3} = \frac{3m}{4\pi r_0^3}$

نعتبر الكتلة التقريبية لنوية هي : $m = 1,67 \cdot 10^{-27} kg$ ، نجد الكتلة الحجمية

$\rho \approx 2,3 \cdot 10^{17} kg \cdot m^{-3}$ وهذا ما يوضح أن **للمادة النووية كثافة شديدة** ، ويلاحظ توفى بعض

النجوم على كثافة حجمية مماثلة تسمى **النجوم النوترونية** (لأنها مكونة من نوترونات فقط) .

1-6- مخطط (N, Z) : مخطط سيغري :

تحتفظ بعض النوى بصفة دائمة بنفس التركيب ، نقول إن هذه **النوى مستقرة** . وهناك نوى تتحول

تلقائيا إلى نوى أخرى بعد بعثها إشعاعات ، نقول إنها **نوى غير مستقرة أو إشعاعية النشاط** .

يبين مخطط سيغري موقع النوى المستقرة والنوى المشعة ، حيث تمثل كل نواة بمربع صغير أفصوله Z

عدد بروتونات النواة ، وأرتوبه N عدد نوتروناتها .

تسمى المنطقة ذات اللون الأحمر **منطقة الاستقرار** ، وهي تضم النوى المستقرة .

أ- ذكر لمدلول الحرف A في التمثيل $\frac{A}{Z}X$ ، واعط العلاقة بين A و Z و N .

الحرف A يرمز إلى عدد الكتلة و $A = Z + N$.

ب- ماذا تتميز النوى المستقرة ذات $Z < 20$ ؟ استنتج أن النسبة $\frac{A}{Z} \approx 2$.

بالنسبة للنوى المستقرة ذات $Z < 20$ يكون $Z = N$.
ونعلم أن $A = Z + N = Z + Z = 2Z$

$$\frac{A}{Z} \approx 2 \quad \text{إذن}$$

ج- كيف تصبح النسبة $\frac{A}{Z}$ بالنسبة للنوى الثقيلة المستقرة أي بالنسبة لـ $Z > 70$ ؟

بالنسبة للنوى المستقرة ذات $Z > 70$ لدينا $N > Z$.

$$A > Z + Z \quad \text{أي} \quad A > 2Z \quad \text{إذن} \quad \frac{A}{Z} > 2$$

د- تضم المنطقة ذات اللون الأزرق ، النوى الإشعاعية

النشاط β^- . قارن بين N و Z بالنسبة لنوى هذه المنطقة . ماذا تستنتج ؟

بالنسبة لهذه المنطقة لدينا $N > Z$ ، نستنتج أن هذه النوى بحاجة إلى فقدان نوترون أو أكثر .

هـ- قارن بين Z و N بالنسبة لنوى المنطقة ذات اللون الأصفر . ماذا تستنتج ؟

بالنسبة لهذه المنطقة توجد أسفل منطقة الاستقرار وهي بحاجة إلى فقدان بروتون أو أكثر من أجل استقرارها .

و- هل النوى الثقيلة ($A > 200, Z > 82$) مستقرة ؟ إذا كان الجواب بلا، ما نوع نشاطها الإشعاعي ؟

هذه النوى غير مستقرة ونشاطها الإشعاعي هو α حيث إنها بحاجة إلى فقدان بروتونات ونوترونات لتكون مستقرة .

استنتاجات :

● مختلف نظائر نفس العنصر الكيميائي توجد على نفس المستقيم الموازي لمحور الأرتيب .

● **بالنسبة للنويدات ذات $Z \leq 20$:** يوجد مجال الاستقرار بمحادات المنصف الأول ($Z = N$) ،

أي Z و N متقاربتين بالنسبة للنويدات الخفيفة المستقرة .

● **بالنسبة للنويدات ذات $Z > 20$:** يبتعد مجال الاستقرار عن المنصف الأول نحو الأعلى كلما

زادت قيمة Z . أي يصبح عدد النوترونات N أكبر من عدد البروتونات Z ، ومن ثم فاستقرار

النواة لا يمكن أن يحصل إلا إذا كان عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات .

2- النشاط الإشعاعي :

1-1- نشاط :

اهتم الفيزيائي الفرنسي **هنري بيكريل** بدراسة ظاهرة استنشاع أملاح الأورانيوم، وهي ظاهرة تبعث خلالها هذه الأملاح أشعة مرئية، بعد تعريضها لفترة من الزمن لأشعة الشمس.

في 26 فبراير 1896 م ، كانت سماء باريس غائمة . وتعذر على **بيكريل** تعريض أملاح الأورانيوم لأشعة الشمس ، فوضعها في درج مكتبه مع صفائح فوتوغرافية مكسوة بغشاء من ورق سميك أسود ومعتم .



الفيزيائي هنري بيكريل (1852م-1908م)



بيير كوري (1859م-1906م) جائزة نوبل 1903
 ماري كوري (1867م-1934م) جائزة نوبل 1903 و1911

وفي مارس من نفس السنة قام **بيكريل** بتحريض الصفائح الفوتوغرافية فلاحظ بانبيهار كبير أنها متأثرة ، رغم عدم تعريضها لأشعة الشمس . وهكذا اكتشف **بيكريل** أن أملاح الأورانيوم تبعث تلقائيا أشعة غير مرئية تترك أثارا على صفائح فوتوغرافية . وقد أثبت بعد ذلك أن قابلية بعث الأشعة ، هي خاصية لعنصر الأورانيوم ، وسمى هذه الأشعة "الأشعة الأورانية" .

وابتداء من سنة 1898 م ، لاحظ الفيزيائيان **بيير كوري** وزوجته **ماري كوري** أن عنصر الثوريوم يبعث أيضا الأشعة الأورانية المكتشفة من طرف **بيكريل** .



إرنست رذرفورد (1871م-1937م) جائزة نوبل 1908
 فريدريك سودي (1877م-1957م) جائزة نوبل 1921

تلت ذلك عدة أبحاث أدت إلى تعرف وتصنيف الأشعة المنبعثة من المواد المشعة ، حيث تعرف الفيزيائيان الإنجليزيان **أرنست رذرفورد** و **فريدريك سودي** على الأشعة المنبعثة من الأورانيوم 238 ، وبيننا أنها عبارة عن نوى الهيليوم المتأينة ، وسميت أشعة ألفا α . ويعبر عن هذا الانبعاث بالمعادلة : ${}_{92}^{238}U \rightarrow {}_{90}^{234}Th + {}_2^4He$.

في سنة 1900 م ، تعرف بيكريل على نوع آخر من الإشعاعات النووية وهو الإشعاع β^- . وهو عبارة عن انبعاث إلكترونات من نوى الثوريوم Th وفق المعادلة : ${}_{90}^{234}Th \rightarrow {}_{91}^{234}Pa + {}_{-1}^0e$. بعد ذلك أبرز الفرنسي بول فيلار وجود الأشعة γ وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية غير مرئية . أدت كل هذه الاكتشافات وتطبيقاتها إلى تكور و إغناء المعارف حول طبيعة نواة الذرة .

أ- ماذا تعني كلمة استنشعاع ؟

الاستنشعاع ظاهرة يبعث خلالها عنصر كيميائي أشعة مرئية بعد تعريضه لأشعة الضوء .

ب- كيف اكتشف بيكريل أن أملاح الأورانيوم تبعث أشعة غير مرئية ؟ لاحظ تأثر الصفائح الفوتوغرافية رغم عدم تعريضها لأشعة الشمس .

ج- هل تم اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي بالصدفة أم كان هناك تنبؤ نظري باكتشافها ؟ تم اكتشاف النشاط الإشعاعي بالصدفة (بشكل غير متعمد) .

د- ما هو النشاط الإشعاعي ؟ كيف يمكن الكشف عن مادة مشعة ؟

النشاط الإشعاعي هو تفتت طبيعي وغير مرتقب لنواة غير مستقرة . ويتم الكشف عنها بواسطة صفائح فوتوغرافية توضع أمام المادة .

ه- اذكر اسمي النواتين المشعنتين اللتين تم التعرف عليهما إلى حدود 1898 م .

نواة الأورانيوم ${}_{92}^{238}U$ و نواة الثوريوم ${}_{90}^{234}Th$.

و- اذكر أنواع الإشعاعات النووية الواردة في النص وحدد طبيعتها .

α وهي عبارة عن نواة الهيليوم المتأينة ${}_2^4He$.

β^- وهي عبارة عن إلكترونات ${}_{-1}^0e$.

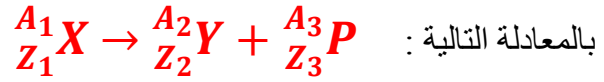
γ وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية غير مرئية .

ز- تحقق من انحفاظ كل من عدد الكتلة A وعدد الشحنة Z في معادلتى التحولين الواردين في النص .

نلاحظ انحفاظ عدد الكتلة A و عدد الشحنة Z في المعادلتين .

2-2- تعاريف :

النواة المشعة هي نواة غير مستقرة ، تتفتت تلقائياً مع انبعاث دقيقة .
النشاط الإشعاعي تفتت طبيعي لنواة مشعة إلى نواة متولدة أكثر استقرار مع انبعاث دقيقة . ويعبر عنه



مع X رمز النواة الأصلية و Y رمز النواة المتولدة و P رمز الدقيقة المنبعثة .

2-3- خصائص النشاط الإشعاعي :

- كباقي التحولات ، للنشاط الإشعاعي خصائص هي :
 - عشوائي : لا يمكن التنبؤ بلحظة تفتت نواة مشعة معينة .
 - تلقائي : يحدث التفتت دون تدخل خارجي .
 - حتمي : النواة المشعة ستفتت أجلاً أم عاجلاً ، ولا شيء يمكن أن يبطئ أو يسرع وثيرة التفتت لعينة مشعة .
 - لا يتعلق بالعوامل الخارجية مثل الضغط أو الحرارة أو طبيعة المجال الذي توجد فيه العينة المشعة .
 - لا يتعلق بالروابط الكيميائية التي تكونها الذرة التي تضم النواة المشعة .

2-4- قوانين الانحفاظ :

تخضع التحولات النووية لقوانين الانحفاظ ، نذكر منها **قانوني سودي** :

خلال التحولات النووية ، تتحفظ الشحنة الكهربائية Z وعدد النويات A .

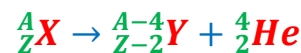
**2-5- مختلف الأنشطة الإشعاعية :****2-5-1- النشاط الإشعاعي α :**

النشاط الإشعاعي α تفتت نووي طبيعي وتلقائي يحدث

للنوى الثقيلة ($A > 200$) ، تتحول خلاله نواة أصلية ${}_{Z}^AX$

إلى نواة متولدة ${}_{Z-2}^{A-4}Y$ يبعث نواة الهيليوم ${}_{2}^4He$ التي

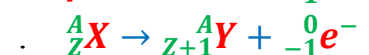
تسمى دقيقة α ، وفق المعادلة التالية :

**2-5-2- النشاط الإشعاعي β^- :**

النشاط الإشعاعي β^- تفتت نووي طبيعي وتلقائي ، تتحول

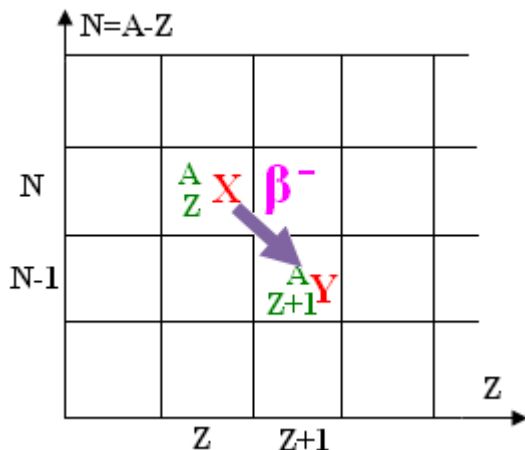
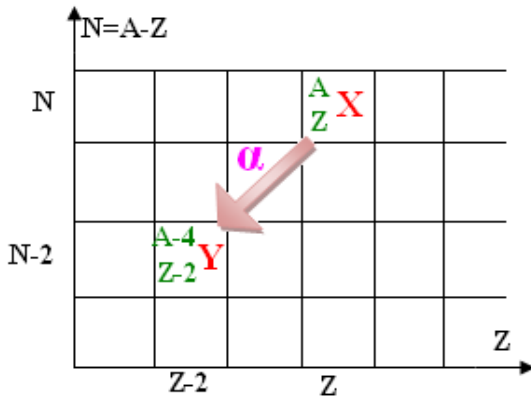
خلاله نواة أصلية ${}_{Z}^AX$ إلى نواة متولدة ${}_{Z+1}^AY$ يبعث إلكترون

${}_{-1}^0e^-$ نسميه دقيقة β^- ، وفق المعادلة التالية :

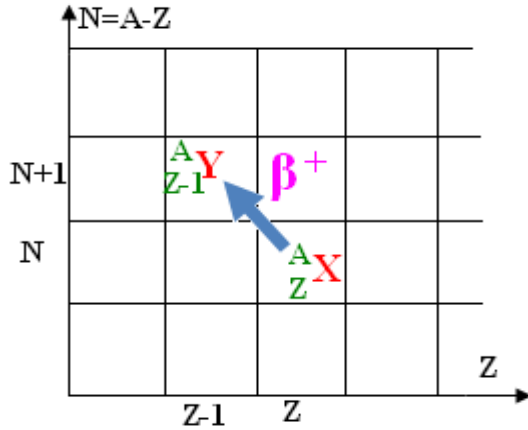


ملحوظة : خلال هذا النشاط الإشعاعي β^- يتحول نوترون

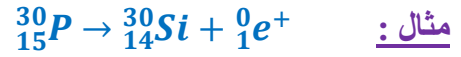
إلى بروتون حسب المعادلة التالية : ${}_{0}^1n \rightarrow {}_{1}^1p + {}_{-1}^0e^-$



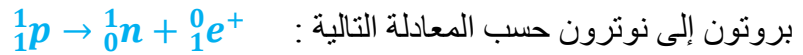
2-5-3- النشاط الإشعاعي β^+ :



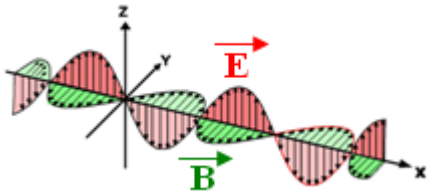
النشاط الإشعاعي β^+ تفتت نووي طبيعي وتلقائي يظهر عموما بالنسبة للعناصر المشعة الاصطناعية ، حيث تتحول أثناءه النواة الأصلية A_ZX إلى نواة متولدة ${}^{A}_{Z-1}Y$ يبعث بوزيترون ${}^0_1e^+$ ويسمى الدقيقة β^+ ، وفق المعادلة التالية : ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^0_1e^+$. للبروترون و الإلكترون الكتلة نفسها وشحنتين متقابلتين .



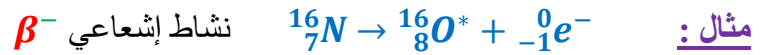
ملحوظة : خلال هذا النشاط الإشعاعي β^+ يتحول



2-5-4- النشاط الإشعاعي γ :



الإشعاع γ عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة كبيرة جدا ، وهو يواكب الأنشطة الإشعاعية α و β^- و β^+ ، حيث تكون النواة المتولدة في حالة إثارة ، ولفقدان طاقة إثارتها فإنها تتخلص من فائض الطاقة هذا ببعث أشعة γ ، وفق المعادلة التالية : ${}^A_ZY^* \rightarrow {}^A_ZY + \gamma$. نواة متولدة في حالة إثارة . ${}^A_ZY^*$ نواة متولدة في حالتها الأساسية .



تطبيق : باعتمادك على جدول الترتيب الدوري للعناصر الكيميائية ، أتمم المعادلات التالية مع تحديد طبيعة الإشعاع .

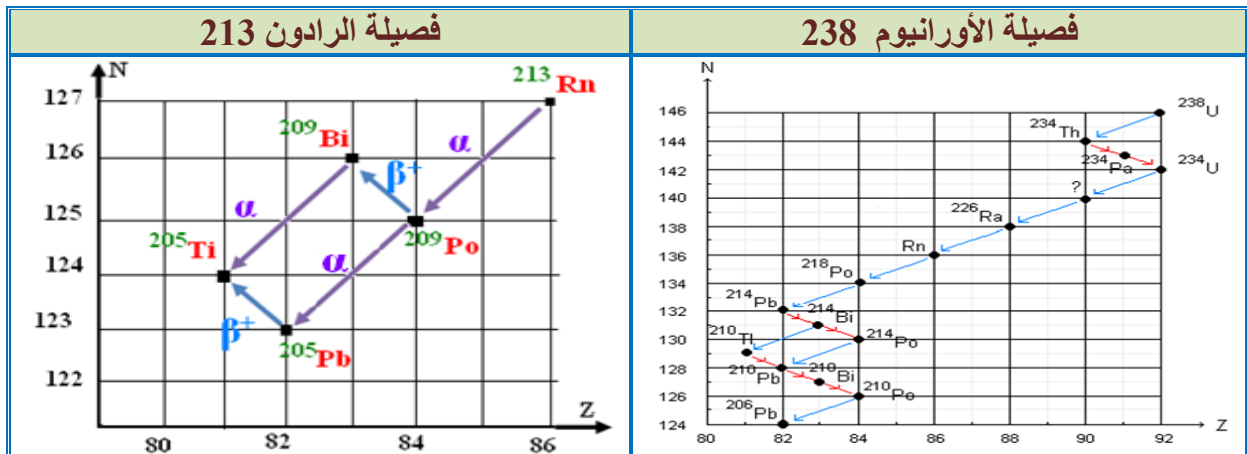


2-6- الفصيلة المشعة :

يترتب على النشاط الإشعاعي أن نويدة غير مستقرة تتحول إلى نويدة أخرى ، وإذا كانت هذه الأخيرة غير مستقرة كذلك ، فإنها تتحول بدورها ، وهكذا إلى أن نحصل على نويدة مستقرة وغير مشعة . نسمي مجموع النويدات الناتجة عن نفس النويدة الأصلية **فصيلة مشعة** .

توجد أربع فصائل مشعة طبيعية تنحدر من النوى التالية : ${}^{238}_{92}U$; ${}^{235}_{92}U$; ${}^{237}_{93}Np$; ${}^{232}_{90}Th$

مثال :



3- قانون التناقص الإشعاعي :

النشاط الإشعاعي ظاهرة عشوائية تحدث تلقائياً ، إذ لا يمكن التنبؤ مسبقاً بلحظة تفتت نواة ، ولا تغيير مميزات هذه الظاهرة . غير أن التطور مع الزمن لعينة عيانية مشعة يخضع لقانون إحصائي نسميه قانون التناقص الإشعاعي (توصل إليه **رذرفورد و سودي** سنة 1902 م) .

3-1- قانون التناقص الإشعاعي :

لتكن N_0 عدد النوى المشعة في اللحظة $t = 0$ ولتكن $N(t)$ عدد النوى المتبقية (غير المتفتت) في اللحظة t . لتكن $N(t) + dN(t)$ عدد النوى المتبقية في اللحظة $t + dt$ مع $dN(t) < 0$. عدد النوى التي تفتت خلال هي

$$N(t) - (N(t) + dN(t)) = -dN(t)$$

وقد أكدت التجارب أن $-dN(t)$ يتناسب مع $N(t)$ و dt

$$\text{أي } -dN(t) = \lambda \cdot N(t) \cdot dt$$

وبالتالي $\frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda \cdot dt$ ومنه فإن $\ln N(t) = -\lambda \cdot t + c$

$$\text{إذن } N(t) = e^{-\lambda \cdot t + c} = e^{-\lambda \cdot t} \cdot e^c$$

$$\text{إذن } N(t) = \alpha \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

عند اللحظة $t = 0$ لدينا $N(0) = N_0$ ولدينا $N(0) = \alpha \cdot e^0 = \alpha$

$$\text{إذن } \alpha = N_0$$

إذن ، نعبر عن قانون التناقص الإشعاعي لعينة مشعة كما يلي :

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

يخضع $N(t)$ عدد النويدات غير المتفتتة من عينات مشعة لقانون التناقص الإشعاعي ، مع λ **الثابتة الإشعاعية** وهي تميز النويده المشعة ولا تتعلق بالشروط البدئية ، وحدتها في (ن.ع) هي s^{-1} .

3-2- ثابتة الزمن لعينة مشعة :

نعرف **ثابتة الزمن τ** بالعلاقة التالية : $\tau = \frac{1}{\lambda}$ وحدتها في (ن.ع) هي الثانية s .

لدينا $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ عند اللحظة $t = \tau$ نجد

$$N(\tau) = N_0 \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau}} = N_0 \cdot e^{-1} = 0,37N_0$$

إذن τ هي المدة الزمنية اللازمة لتفتت 37% من العدد البدئي N_0 للنويدات.

ملحوظة : يقطع المماس للمنحنى $N = f(t)$ في اللحظة $t = 0$ محور

الأفاصيل في النقطة التي أفصولها $t = \tau$.

3-3- عمر النصف لعينة مشعة :

عمر النصف لنويده مشعة هو المدة الزمنية $t_{1/2}$ اللازمة لتفتت نصف نويدات العينة .

عند $t = t_{1/2}$ لدينا $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$ إذن $N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$ أي $e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{1}{2}$

الدالة الأسية e معرفة على \mathbb{R} .

لدينا $\forall y \in \mathbb{R} ; \forall x \in \mathbb{R}$

$$e^{x+y} = e^x \cdot e^y$$

$$e^{x-y} = \frac{e^x}{e^y}$$

$$e^{ax} = (e^x)^a$$

الدالة \ln معرف على $]0, +\infty[$

$\forall y \in]0, +\infty[; \forall x \in]0, +\infty[$

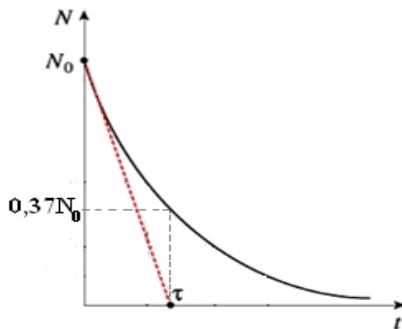
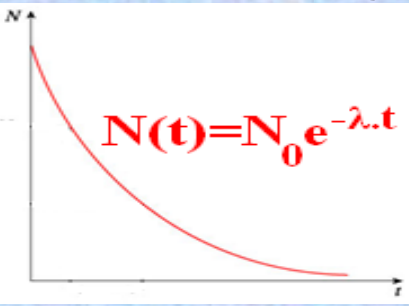
$$\ln xy = \ln x + \ln y$$

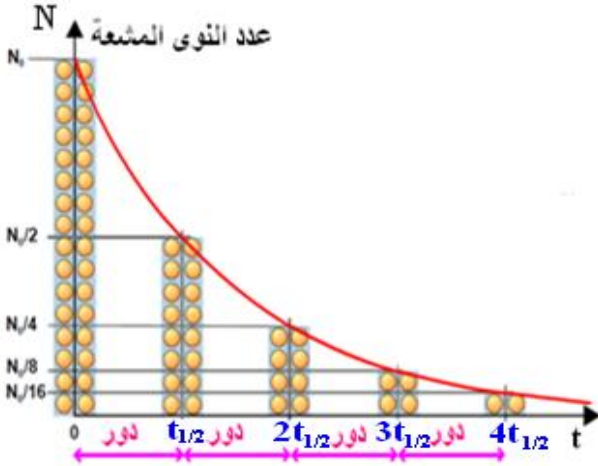
$$\ln \frac{x}{y} = \ln x - \ln y$$

$$\ln x^a = a \cdot \ln x$$

لدينا $\forall y \in]0, +\infty[; \forall x \in \mathbb{R}$

$$\ln e^x = x \text{ إذن } y = e^x$$





$$-\lambda t_{1/2} = \ln \frac{1}{2} = -\ln 2 \quad \text{إذن}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 \quad \text{وبالتالي :}$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{و} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad \text{لدينا}$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}} = N_0 \cdot e^{\ln 2 \cdot \frac{-t}{t_{1/2}}} \quad \text{إذن}$$

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} \quad \text{إذن}$$

3-4- نشاط عينة مشعة :

نشاط عينة (t) لعينة مشعة تحتوي على عدد $N(t)$ من النوى المشعة هو عدد النوى المتفتتة في وحدة

الزمن . تعبيره هو $a(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$ وحدته في (ن.ع) هي **البيكريل Bq** (يمثل 1 Bq يمثل

تفتت واحد في الثانية) ونستعمل أيضا **الكوري Ci** حيث $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.



$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{أي} \quad N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{لدينا}$$

$$a(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = \lambda \cdot N(t) \quad \text{إذن}$$

عند اللحظة $t = 0$ يكون نشاط عينة مشعة هو $a_0 = \lambda \cdot N_0$

$$a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{إذن}$$

ملحوظة : هناك عدة أجهزة لقياس النشاط الإشعاعي ، منها :

* **عداد جيجر Geiger** * **عداد جيجر-مولر Geiger-Muller** * **عداد بالايماض**

3-5- التاريخ بالنشاط الإشعاعي :

يستعمل الجيولوجيون وعلماء الآثار تقنيات مختلفة لتحديد أعمار الحفريات والصخور ... ومن بين هذه التقنيات نجد تلك التي تعتمد على النشاط الإشعاعي .

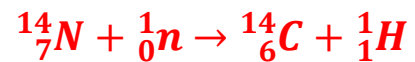
فالصخور والحفريات تحتوي على نويدات مشعة يتناقص عددها مع مرور الزمن ، وبذلك يمكن تأريخ عينة بقياس نشاطها ومقارنته مع نشاط عينة أخرى مرجعية .

كلما كان عمر العينة المراد تأريخها كبيرا وجب استعمال طريقة تعتمد نويدات ذات عمر نصف أكبر .

مثال : يتوفر عنصر الكربون أساسا على نظيرين : الكربون 12 وهو مستقر والكربون 14 وهو إشعاعي

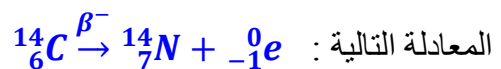
النشاط β^- موجود بكميات ضئيلة بسبب ضعف وفارته الطبيعية (0,0001%) حيث يوجد بهذه الوفرة في كل تركيب كيميائي يحتوي على الكربون .

يتكون الكربون باستمرار نتيجة اصطدام نوترونات الأشعة الكونية بالأزوت وفق المعادلة التالية :



نفترض أنه خلال 40000 سنة الأخيرة ، بقيت نسبة الكربون 14 في الفضاء ثابتة مع مرور الزمن .

و نعلم أن جميع الكائنات الحية تتبادل الكربون مع الجو من خلال التنفس أو التركيب الضوئي ومع المركبات العضوية من خلال التغذية . وعند موتها تتناقص هذه النسبة بسبب تفتت نوى الكربون 14 وفق



و بتطبيق قانون التناقص الإشعاعي : $a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad \text{و} \quad t_{1/2} = 5600 \text{ ans} \quad \text{علما أن}$$

$$\ln\left(\frac{a_0}{a}\right) = \lambda t \quad \text{أي} \quad \ln\left(\frac{a}{a_0}\right) = -\lambda t \quad \text{أي} \quad \frac{a}{a_0} = e^{-\lambda t} \quad \text{أي} \quad a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

وبقياس نشاط (t) لكتلة معروفة من عينة ، ومعرفة النشاط a_0 لنفس الكتلة من عينة شاهدة حالية ،

$$t = \frac{\ln\left(\frac{a_0}{a}\right)}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln\left(\frac{a_0}{a}\right) \quad \text{يمكن تحديد عمرها } t \text{ بالعلاقة التالية :}$$

ملحوظة: يمكن تأريخ بعض الأجسام التي لا يتجاوز عمرها 40000 سنة عن طريق نويدة الكربون 14، وفي حالة الأجسام القديمة جدا ، نستعمل نويدات مشعة عمر نصفها كبير جدا (الأورانيوم 238 لتقدير عمر الأرض مثلا) .