3 . التناقص الإشعاعي

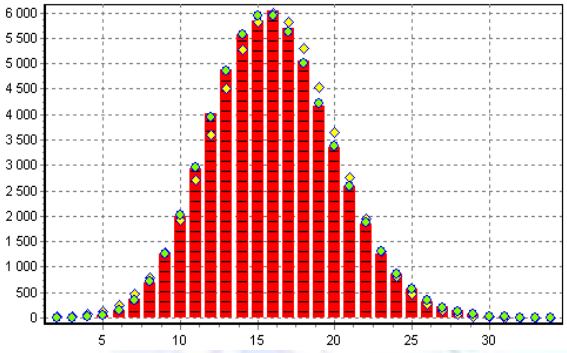
تصميم الدرس

3 . 1 . الطابع العشوائي للتناقص الإشعاعي

إن التناقص الإشعاعي هو سيرورة عشوائية ولا يتأثر بالشروط الخارجية.

مثال ذلك : إن زيادة درجة حرارة عينة مشعة لا يؤثر على معدل التناقص

هذا يعني بأنه لا يمكن معرفته إذا كانت نواة محددة تتناقص أو لا خلال فترة زمنية. كل ما نستطيع معرفته هو حظوظ التناقص الحاصلة في هذه الآونة. حتى إذا كان الأسلوب عشوائيا، فإن عددا كبيرا من الذرات المعنية يسمح لنا بإجراء توقعات دقيقة. إذا بدأنا بعدد معين من الذرات، يمكن لنا توقع عدد معين من التناقصات في الدقيقة الموالية.



إذا كان عدد الذرات المشعة في العينة أكثر يكون عدد التفككات أكبر.في المتوسط يكون معدل التفككات لعينة متناسبا مع العدد الذري للعينة.

3 . 2 . المعادلة التفاضلية للتناقص الإشعاعي

نعتبر عينة مشعة تحتوي في اللحظة t على عدد من الأنوية المشعة يساوي $N(t)$. خلال المدة الزمنية Δt يمر عدد الأنوية المشعة من القيمة N إلى القيمة $N + \Delta N$ حيث $\Delta N < 0$.

لقد حدث خلال المدة الزمنية Δt تفكك عدد من الأنوية يساوي $-\Delta N$.

الاحتمال P لكي تتفكك $-\Delta N$ نواة خلال المدة Δt يساوي عدد الحالات المحققة على عدد الحالات الممكنة :

$$P = -\frac{\Delta N}{N} = \frac{|\Delta N|}{N}$$

يتناسب هذا الاحتمال مع المدة الزمنية Δt حسب العلاقة :

$$P = -\frac{\Delta N}{N} = \lambda \cdot \Delta t \quad .....(1)$$

حيث λ هو ثابت التناسب، موجب ويدعى ثابت التفكك. يمثل الثابت λ احتمال تفكك نواة واحدة خلال وحدة زمنية معينة.

وحدة هذا المقدار، أي λ ، في جملة الوحدات الدولية هي s^{-1} أو $1/s$.

كل نواة مشعة تملك ثابت تفكك خاصا بها. كلما كان هذا المقدار مرتفعا كلما كان احتمال تفكك عدد معين من الأنوية خلال المدة Δt مرتفعا.

يمكن كتابة العلاقة (1) على الشكل التالي :

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N \quad .....(2)$$

لما Δt يؤول إلى الصفر فإن العلاقة (2) تصبح

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N \quad .....(3)$$

ومنه نكتب المعادلة التفاضلية التي يحققها التناقص الإشعاعي لعينة مشعة:

$$\frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N = 0$$

وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى بدون طرف ثاني

3 . 3 . قانون التناقص الإشعاعي – الحل الذي تقبله المعادلة التفاضلية

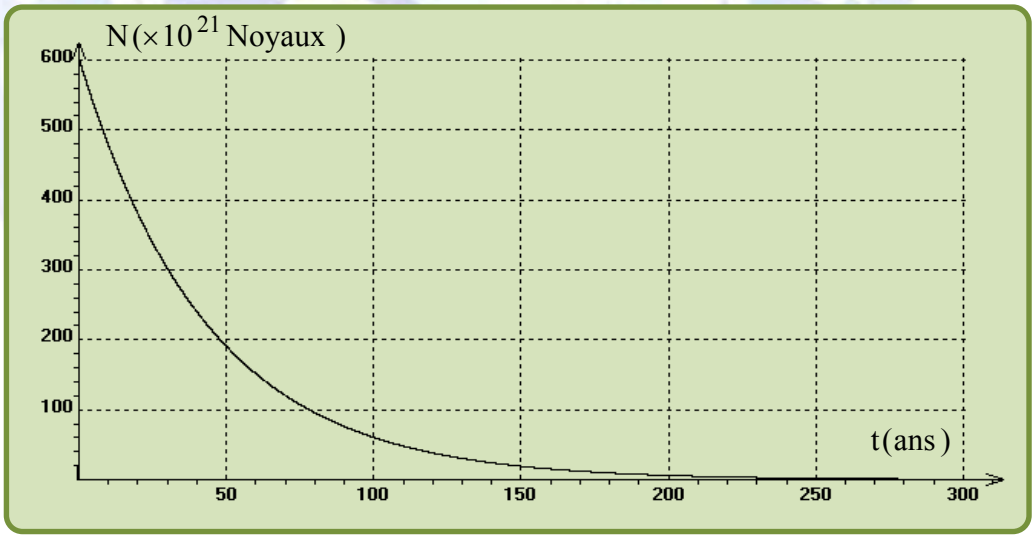
تقبل هذه المعادلة كحـل لها الدالة :

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

حيث N_0 يمثل عدد الأنوية المشعة الموجودة في اللحظة $t = 0$ ، $N(t)$ هو عدد الأنوية المشعة المتبقية عند اللحظة t و λ هو ثابت النشاط الإشعاعي.

إن المقدار ($\lambda\, t$) هو مقدار بدون وحدة و لهذا يجب أن يكون λ و t في نفس جملة الوحدات. فمثلا إذا كان λ في وحدة h^{-1} فإن الزمن t يكون في وحدة h.

إن التمثيل البياني لهذه الدالة يسمح لنا بالحصول على المنحنى التالي:



يمثل هذا المنحنى، بيان التناقص الإشعاعي لعدد الأنوية المشعة.

نشاط :

بين أن هذه الدالة $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ هي حل للمعادلة التفاضلية.

تحليل النشاط :

نشتق الدالة $N(t)$ بالنسبة للزمن فنجد: $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

نعوض في المعادلة التفاضلية كل من الدالة $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ و مشتقها $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$:

$$-+\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} + \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 0$$

إذن الدالة التي اقترحت هي حل للمعادلة التفاضلية.

3 . 4 . النشاط الإشعاعي – سرعة تفكك الأنوية

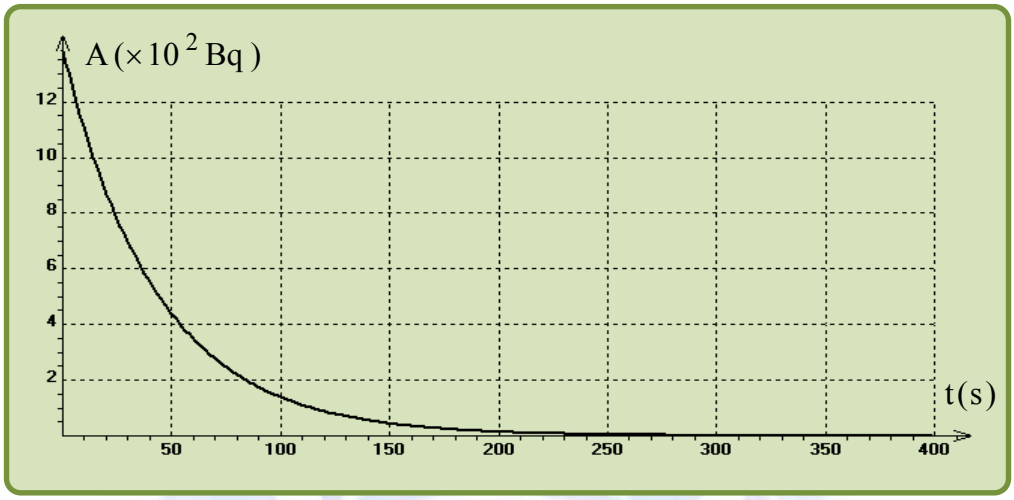
النشاط الإشعاعي هي السرعة التي تتفكك بها مجموعة من الأنوية لنظير مشع وبالتالي فهي تمثل عدد الأنوية التي تفككت في الثانية الواحدة أو في وحدة زمن معينة (الساعة أو الدقيقة مثلا).

يرمز لهذه السرعة بالرمز A وتعطى في جملة الوحدات الدولية بوحدة البيكرال (Bq). (1Bq =1désintégration / s). تعطى سرعة التفكك بإحدى العبارات التالية :

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

تمثل A_0 نشاط العينة في اللحظة $t = 0$.

يسمح لنا التمثيل البياني لهذه الدالة بالحصول على المنحنى التالي:



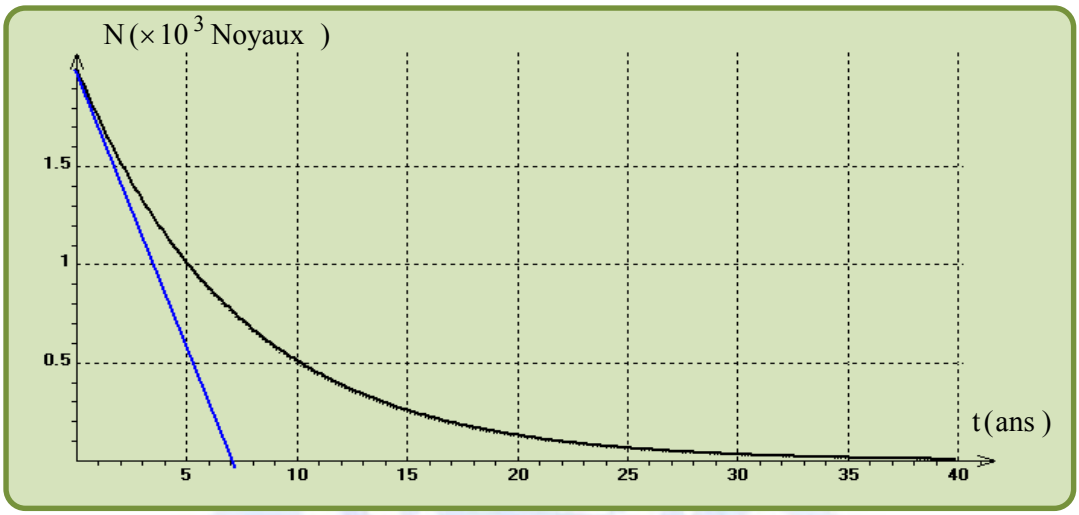
يمثل الجدول الموالي قيما تقديرية للنشاط الإشعاعي الخاص ببعض المنابع

منبع النشاط الإشعاعي	قيمة النشاط A (Bq)
إنسان (70 kg)	7000
1 L من الماء المعدني	10
1 Kg من السمك	100
1 kg من الأسمدة الفوسفاتية	2000
1 kg من البلوتونيوم	2.10^{12}
منبع إشعاعي طبي	1.10^{14}

3 . 5 . ثابت الزمن τ و زمن نصف العمر $t_{1/2}$.

نشاط

يعتبر عنصر الكوبالت $^{60}_{27}Co$ Cobalt مشعا لـ β^- . ثابت النشاط الإشعاعي له هو $\lambda = 0,14\ ans^{-1}$. نتابع التطور الزمني لعدد معين من الأنوية المشعة لهذا العنصر فنحصل على البيان التالي:



1 – استنتج من هذا البيان العدد N_0 للأنوية المشعة الموجودة في اللحظة t = 0.

2 – ثابت الزمن τ.

رأينا من خلال الطابع العشوائي للتفكك النووي أن لكل نواة عمر، فهي لا تعيش نفس المدة. اللحظة التي تتفكك فيها نعتبرها قد توفيت أو ماتت. لهذا نتكلم عن متوسط العمر لجميع الأنوية التي يحدث لها نفس التفكك. متوسط العمر هذا يدعى **ثابت الزمن** ويرمز له بالرمز τ وهو فاصلة نقطة تقاطع المماس للمنحنى $N(t)$ عند اللحظة $t = 0$ مع محور الأزمنة.

أ/ عين من البيان هذا المقدار.

ب/ بين، باستعمال معادلة المماس للمنحنى عند اللحظة $t = 0$ و كذلك الدالة التي تمثل التناقص الإشعاعي، إن العلاقة التي تربط ثابت الزمن بثابت النشاط الإشعاعي هي: $\lambda = \frac{1}{\tau}$

جـ / استنتج من البيان عدد الأنوية المشعة المتبقية في اللحظة $t = 5\,\tau$.
استنتج النسبة $\frac{N_0 - N(t = 5\tau)}{N_0}$. ماذا تلاحظ ؟ في رأيك ما الفائدة من ثابت الزمن τ ؟

د / أكتب عبارة التناقص في النشاط الإشعاعي بدلالة N_0 عدد الأنوية المشعة الموجودة في اللحظة $t = 0$ و ثابت الزمن τ.

بين أنه في اللحظة $t = \tau$ ، عدد الأنوية المشعة المتبقية يعطى بالعلاقة:
$N = 0{,}37 \times N_0$.

هـ/ بين كيف يمكن استغلال هذه العبارة لتعين ثابت الزمن τ من البيان.
ما هي الطريقة التي ترى بأنها أكثر دقة، طريقة المماس أم هذه الطريقة ؟

7 – زمن نصف العمر $t_{1/2}$.

نعرف زمن نصف العمر بأنه المدة الزمنية اللازمة لكي تتفكك نصف الكمية من الأنوية الأصلية. عند اللحظة $t = t_{1/2}$ يكون $\frac{N_0}{2}$.

أ / عين من البيان زمن نصف العمر $t_{1/2}$.

ب / أكمل الجدول التالي :

t	0	$t_{1/2}$	$2t_{1/2}$	$3t_{1/2}$	$4t_{1/2}$
N					
N/N_0					

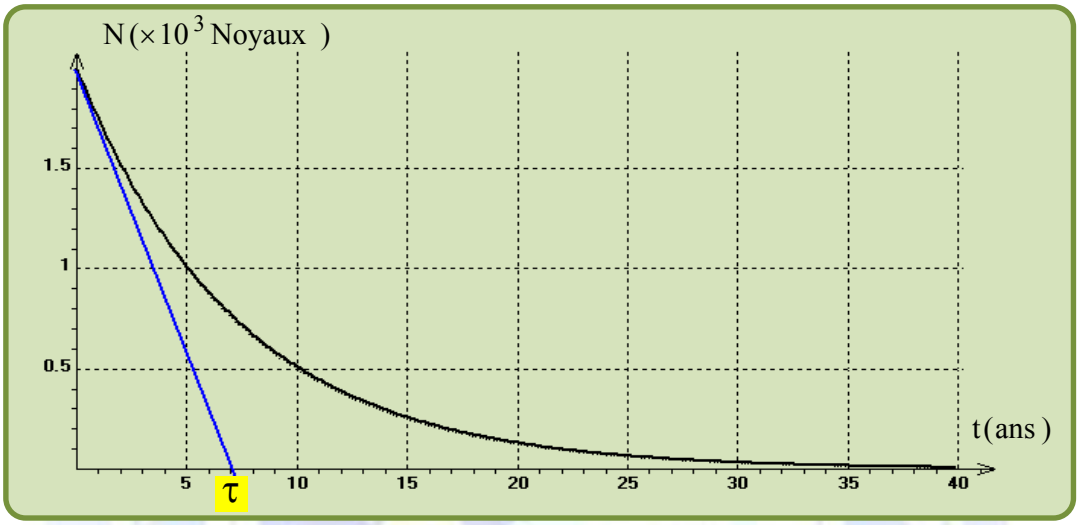
جـ/ باستعمال علاقة التناقص في النشاط الإشعاعي، أوجد العلاقة التي تربط $t_{1/2}$ ، λ و τ .

تحليل النشاط :

1 – من البيان نجد : $N_0 = 2000\ noyaux$.

2 – ثابت الزمن

أ / من البيان نجد: $\tau = 7\ ans$.



ب / يحسب ميل المماس للمنحنى بالعلاقة: $a = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{dN}{dt}$

باستعمال البيان نكتب: $a = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{0 - N_0}{\tau} = -\frac{N_0}{\tau}$

باستعمال الدالة نجد:

$$a = \left(\frac{dN}{dt}\right)_{t=0} = \left(-\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}\right)_{t=0} = -\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \times 0} = -\lambda \cdot N_0$$

ومنه نكتب : $a = -\lambda \cdot N_0 = -\frac{N_0}{\tau}$ و أخيرا نجد: $\lambda = \frac{1}{\tau}$

يمثل ثابت الزمن مقلوب ثابت النشاط الإشعاعي: $\lambda = \frac{1}{\tau}$

جـ / اللحظة $t = 5\tau = 5 \times 7 = 35 \ ans$.

نجد من البيان حوالي: $N = 15{,}42 \ noyaux$

و منه نجد: $\dfrac{N_0 - N(t = 5\tau)}{N_0} = \dfrac{2000 - 15.42}{2000} \times 100 = 99{,}2 \ \%$

نلاحظ أنه عند اللحظة $t = 5\,\tau$ يكون أكثر من 99 % من الأنوية المشعة قد تفكك.

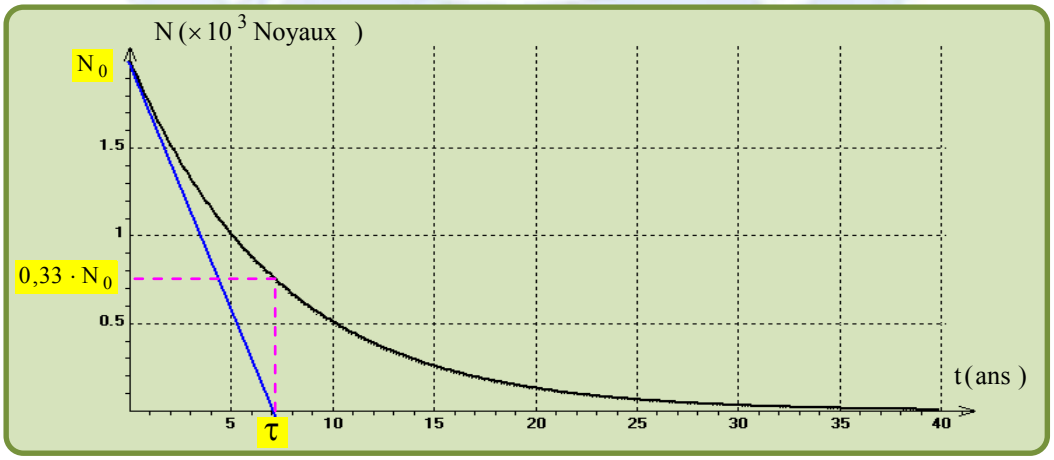
يسمح ثابت الزمن بتقدير المدة الزمنية اللازمة لمجموعة من الأنوية المشعة لكي تتفكك كلية. تقدر هذه المدة بـ $t = 5\,\tau$

د / عبارة التناقص في النشاط الإشعاعي هي: $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ وبما أن $\lambda = \dfrac{1}{\tau}$ فإننا نحصل على: $N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

نعوض اللحظة $t = \tau$ في المعادلة السابقة فنجد ـ د:

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

هـ / الطريقة مبينة على البيان :

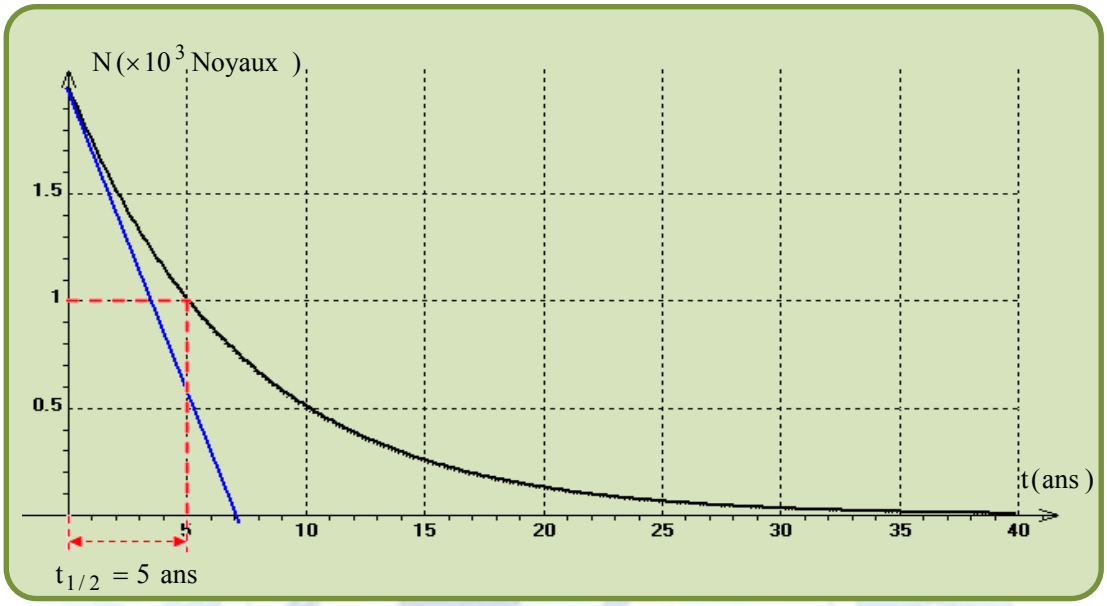


الطريقة التي هي الأكثر دقة هي الطريقة التي تعتمد على

$N(t = \tau) = 0{,}37.N_0$.

7 – زمن نصف العمر

أ / من البيان نجد: $t_{1/2} = 5\ ans$.



ملاحظة:

في أغلب الحالات البسيطة يكون إيجاد المواد المشعة المتبقية هو مسألة تطبيق خاصية نصف العمر عدة مرات. الخطأ الشائع هو اعتقاد أنه إذا كان نصف العمر لمادة مشعة 3 أيام، فإنها تتناقص في6 أيام. في الواقع تبقى بعد 6 أيام (نصفا عمر) نصف النصف، أي الربع، وبعد ثلاثة أنصاف حياة يبقى الثمن ....و هكذا.

يكون الزمن اللازم لتناقص نصف عدد الذرات هو دائما نفسه، مهما كانت قيمة الانطلاق المختارة. إن هذا يسمح لنا بالتعبير عن احتمال تناقص إشعاعي أو تفكك عينة بمقدار يدعى نصف العمر$t_{1/2}$. المادة التي لها نصف حياة كبير تأخذ وقتا طويلا للتناقص. المادة التي لها نصف حياة قصير تتناقص بسرعة أكبر. تتغير أنصاف الحياة من أجزاء الثانية إلى ملايين السنين.

يمثل الجدول التالي نصف عمر بعض العناصر الكيميائية:

عنصر مشع	نصف العمر (ans)
كربون 14	5730
سيزيوم 137	30,2
يـ ـ ود 123	13,2
يورانيوم 137	$4,46.10^9$
رادون 220	58

يسمح نصف العمر بتصنيف التناقص الإشعاعي في العينة، حيث يمثل المدة التي يتناقص فيها النشاط إلى النصف.

ب / أكمل الجدول :

t	0	$t_{1/2}$	$2t_{1/2}$	$3t_{1/2}$	$4t_{1/2}$
N	**2000**	**1000**	**500**	**250**	**125,5**
$\frac{N}{N_0}$	**1**	**1/2**	**1/4**	**1/8**	**1/16**

جـ / العلاقة التي تربط كلا من $t_{1/2}$ ، λ و τ :

لدينا: $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ و منه $\frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t}$ و منه نكتب:

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

في اللحظة $t = t_{1/2}$ يكون لدينا: $N(t) = \frac{N_0}{2}$ و منه:

$$\text{Ln}\ \frac{N_0 / 2}{N_0} = -\lambda \cdot t$$

و منه نصل إلى :

$$t_{1/2} = \frac{1}{\lambda} \cdot \text{Ln}2 = \tau \cdot \text{Ln}2$$

3 . 6 . تطبيق الإشعاع للتأريخ

يمكن بواسطة الإشعاع تقدير عمر المواد العضوية النباتية أو الحيوانية ذات عمر يقارب 40000 سنة باستعمال الكربون14.

يتواجد عنصر الكربون في كل المركبات العضوية. يتكون هذا العنصر أساسا من الكربون 14 المشع الذي يتميز بنصف عمر قدره 5730 سنة.

يستند مبدأ التأريخ بواسطة الكربون 14 على النظرية القائلة بأن النسبة $\frac{^{14}C}{^{12}C}$ في الكون وفي العالم الحي ثابتة عموما. تم هذا بفضل التبادلات مثل التحليل الضوئي والتغذية التي تحدث باستمرار.

عندما يموت عضو فإن الكربون 14 الذي يحتوي عليه لا يتجدد لأن التفاعلات مع العالم الخارجي تتوقف، وعليه فإنه يبدأ في التناقص.

يرمز بـ A_0 للنشاط الابتدائي للعينة الناتج عن الكربون 14، عند اللحظة t بعد موت العينة ، يكون نشاطها يساوي: $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$

الذي يعطي: $\ln \frac{A(t)}{A_0} = -\lambda t = -\ln 2 \frac{t}{t_{1/2}}$

أي : $t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$

نصف عمر الكربون 14 هو $t_{1/2} = 5,7x103\ ans$ الذي يؤدي إلى :

$$t(ans) = 8,22.10^3 \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

عند تأريخ عينات تاريخ نشأتها يكون أكبر من 40000 سنة كالصخور مثلا، تستخدم عناصر مشعة لها نصف عمر أطول من نصف عمر الكربون 14 مثل اليورانيوم 238 ($4,468x10^9 ans$) مقارنة بالرصاص 206 الذي هو مستقر أو الروبيديوم87 (دوره 9,48 مليار سنة) مقارنة بالسترونسيوم الذي هو مستقر، مما سمح بتقدير عمر الأرض بحوالي 4.55 مليار سنة.

لقد سمحت طريقة التأريخ بواسطة الكربون 14 بتقدير عمر المومياء المبينة على الشكل المقابل و قد قدر هذا العمر بـ 2300 عام بخطأ قدره قرن واحد، كما أن طريقة التأريخ باليورانيوم 87 سمحت بتحديد عمر هذا النيزك

مومياء نيزك