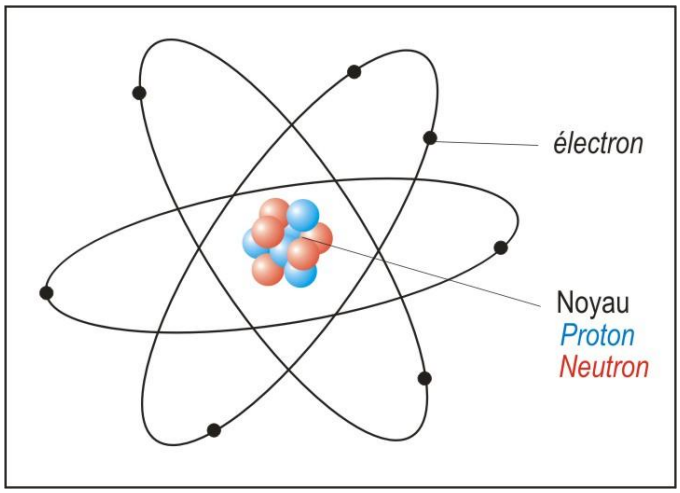
4 التناقص الإشعاعي

La décroissance radioactive

I – استقرار و عدم استقرار النواة :

1 – تركيب النواة :

- تتكون النواة من بروتونات و نوترونات و تسمى هذه المكونات بالنويات **nucléon** .
- يرمز إلى عدد النويات بالحرف **A** و يسمى عدد الكتلة **numéro atomique** .
- يرمز إلى عدد البروتونات بالحرف **Z** و يسمى عدد الشحنة **nombre de masee** .
- يرمز إلى عدد النوترونات بالحرف **N** حيث **N = A – Z** .



تمثل النواة ذرة لعنصر كيميائي X بالرمز : ${}^{A}_{Z}X$

❖ مثال :

رمز نواة الكلور هو : ${}^{35}_{17}Cl$

Z = 17 بروتون

N = 35 – 17 = 18 نوترون

يعبر عن كتلة النويدة بوحدة الكتلة الذرية يرمز لها ب : $1u = 1{,}66.10^{-27}\,kg$

- تساوي وحدة الكتلة الذرية u : $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون ${}^{12}_{6}C$

- نعلم أن مول واحد من ذرات الكربون يساوي $12g = 12.10^{-13}kg$ و يحتوي على $6{,}02.10^{23}$ ذرة من الكربون و بالتالي :

$$1u = \frac{1}{12}.m(C) = \frac{1}{12} \times \frac{M(C)}{N_A} = \frac{1}{12} \times \frac{12.10^{-3}}{6{,}02.10^{23}} = 1{,}66.10^{-27}\,kg$$

2 – النويدات :

يطلق إسم النويدة في الفيزياء الذرية على مجموعة النوى التي تتميز بعدد معين من البروتونات و النوترونات.

❖ أمثلة :

- نويدات عنصر الكربون : ${}^{12}_{6}C$, ${}^{14}_{6}C$
- نويدات عنصر الهيدروجين : ${}^{1}_{1}H$, ${}^{2}_{1}H$, ${}^{3}_{1}H$

3 – النظائر الكيميائية : isotopes chimiques

نظائر عنصر كيميائي هي نويدات تحتوي على نفس العدد الذي Z (البروتونات) و تختلف في عدد الكتلة A (أي عدد النوترونات).

يوجد في الطبيعة 92 عنصر كيميائي طبيعي و في المقابل نجد 350 نويدة طبيعية لكون أن نفس العنصر الكيميائي تقابله عدة نويدات.

❖ مثال :

$^{35}_{17}$, $^{37}_{17}Cl$ نظيران لعنصر الكلور.

$^{238}_{92}U$, $^{235}_{92}U$ نظيران لعنصر الأورانيوم.

❖ تختلف النظائر من حيث وفارتها الطبيعية : abondance

✓ مثال :

		النظائر و الوفارة الطبيعية		
العنصر	الأوكسجين	$^{16}_{8}O$	$^{17}_{8}O$	$^{18}_{8}O$
		99,759	0,037	0,204
	الكربون	$^{12}_{6}C$	$^{13}_{6}C$	$^{14}_{6}C$
		99,9999	0,0001	

4 – كثافة المادة النووية :

النواة لها شكل كروي يتغير بتغير عدد الكتلة وفق العلاقة التالية :

$$r = r_0 . A^{1/3} \quad \text{مع} \quad r_0 = 1{,}2.10^{-15} m$$

الكتلة التقريبية للنوية هي : $m = 1{,}7.10^{-27} kg$

الكتلة الحجمية للنواة :

$$\rho = \frac{m.A}{V} = \frac{m.A}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3m.A}{4\pi r_0^3 A} = \frac{3m}{4\pi r_0^3}$$

$$\rho = \frac{3 \times 1{,}7 \times 10^{-27} kg}{4 \times 3{,}14 \times 1{,}2 \times 10^{-15} m^3} \approx 2.10^{17} kg/m^3 = 2.10^8 tonnes/cm^3$$

ومنه نستنتج أن المادة النووية شديدة الكثافة لأن $1cm^3$ من المادة النووية تساوي 200 مليون طن.

❖ ملحوظة :

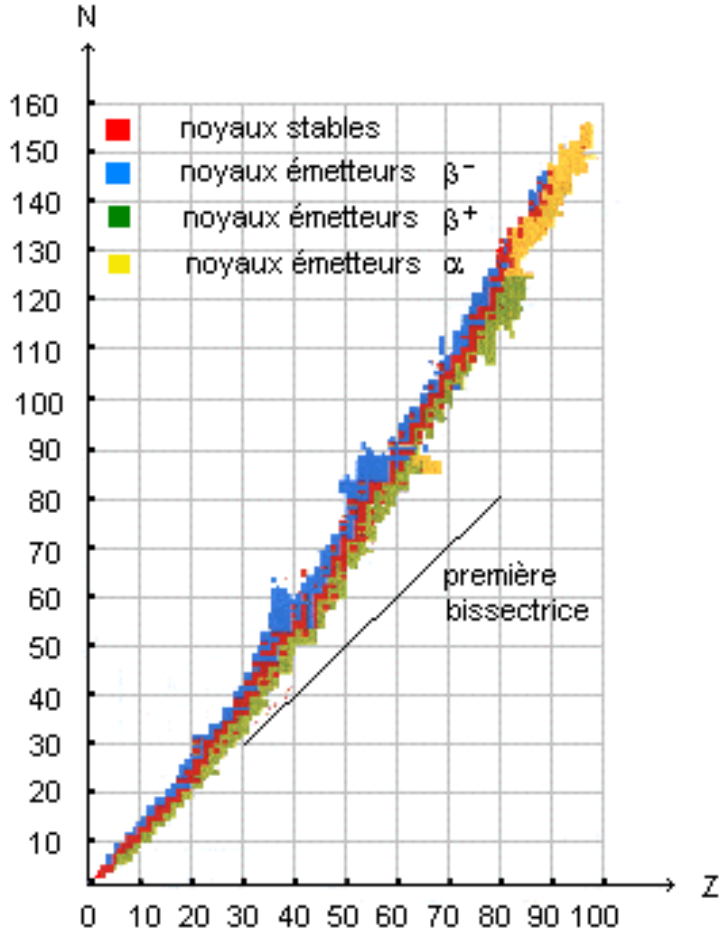
توجد النجوم التي لها كتلة حجمية مماثلة لكتلة الحجمية النووية و تسمى النجوم النوترونية لأنها مكونة من النوترونات فقط.

5 – النشاط الإشعاعي :

النشاط الإشعاعي تحول تلقائي و غير مرتقب في الزمن, تتحول خلاله نواة غير مستقرة إلى نواة أخرى أو إلى حالة إثارة أقل طاقة.

5 – مخطط (N,Z) مخطط سيغري diagramme de sergé :

يبين مخطط سيغري مواقع النوى المستقرة و النوى المشعة (غير مستقرة) .



أ – منطقة الإستقرار :

يحتوي المخطط (N,Z) على منطقة تسمى منطقة الإستقرار و تتضمن النوى المستقرة :

❖ بالنسبة ل Z < 20 :

تتطابق منطقة الاستقرار مع المستقيم ذي المعادلة N = Z مما يدل على أن هذه النوى لها عدد بروتونات يساوي عدد النوترونات و هذا يحقق العلاقة التالية : $A = N + Z \Rightarrow A = 2Z$

❖ بالنسبة ل Z > 20 :

توجد منطقة الاستقرار فوق المستقيم ذي المعادلة N = Z و يكون عدد النوترونات N أكبر من عدد البروتونات Z و هذا يدل على على الدور الهام الذي تؤديه النوترونات في استقرار النواة.

ب– منطقة الأنشطة الإشعاعية :

نميز بين 3 أنواع من الأنشطة الإشعاعية حسب موقعها بالنسبة لمنطقة الاستقرار :

- نوى ثقيلة و هي ذات عدد كبير من النويات (Z , N كبيران A > 200 و Z < 83) لها نشاط إشعاعي من نوع α.

- نوى تقع فوق منطقة الإستقرار تحتوي على فائض في عدد النوترونات مقارنة مع النوى المستقرة و لها نشاط إشعاعي من نوع β^-

- نوى تقع تحت منطقة الإستقرار تحتوي على فائض في عدد البروتونات مقارنة مع النوى المستقرة و لها نشاط إشعاعي من نوع β^+

II – الحولات النووية التلقائية – النشاط الإشعاعي :

1 – قانون الإنحفاظ : قانون سودي (Soddy) :

خلال تحول نووي تنحفظ الشحنة الكهربائية Z و كذلك العدد الإجمالي للنويات A :

❖ مثال :

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{A_2}_{Z_2}P $$

انحفاظ الشحنة الكهربائية : $Z = Z_1 + Z_2$

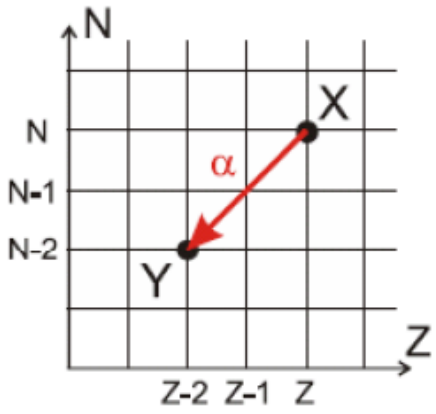
انحفاظ عدد الشحنة : $A = A_1 + A_2$

2 – أنواع الأنشطة الإشعاعية :

أ – النشاط الإشعاعي α :

النشاط الإشعاعي α تفتت نووي طبيعي و تلقائي تتحول خلاله نواة أصلية ${}^{A}_{Z}X$ إلى نواة متولدة ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ ببعث نواة الهيليوم ${}^{4}_{2}He$:

معادلة التحول النووي : $ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He $



❖ **مثال : البولونيوم ${}^{210}_{84}Po$ اشعاعي النشاط α :**

$$ {}^{210}_{84}Po \longrightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He $$

❖ **ملحوظة :**

- الأشعة α قليلة الإختراق يمكن لقطعة ورق صغيرة أو طبقة رقيقة من الهواء أن توقفها .

- كثيرة التأين (تتسبب في تأين الهواء الذي تمر فيه) .

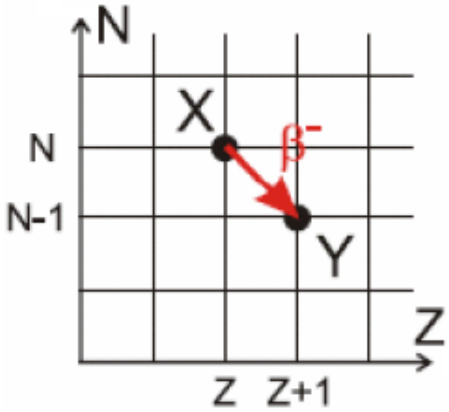
- ذات طاقة عالية .

- سرعتها $2.10^{7}\, m.s^{-1}$.

ب – النشاط الإشعاعي β^- :

النشاط الإشعاعي β^- تفتت نووي طبيعي و تلقائي تتحول خلاله نواة أصلية ${}^{A}_{Z}X$ إلى نواة متولدة ${}^{A}_{Z+1}Y$ ببعث إلكترون ${}^{0}_{-1}e$:

معادلة التحول النووي : $ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e $



❖ **مثال : الكوبالت ${}^{60}_{27}Co$ اشعاعي النشاط β^- :**

$$ {}^{60}_{27}Co \longrightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e $$

❖ **ملحوظة :**

- النشاط الإشعاعي β^- يتم داخل النواة و ينتج عن تحول نوترونات إلى بروتونات و فق المعادلة الظاهراتية : ${}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e$ **(كتابة خاطئة)**

- الأشعة β^- أكثر إختراق من α يمكن توقيفها بقطعة من الألومنيوم سمكها بعض المليمترات

- كثيرة التأين (تتسبب في تأين الهواء الذي تمر فيه) .

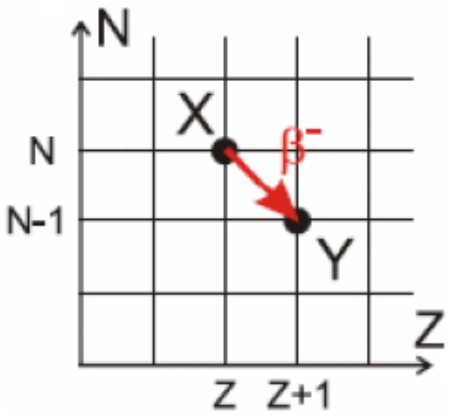
- ذات طاقة عالية .

- سرعتها $2.10^{8}\, m.s^{-1}$.

ج – النشاط الإشعاعي β^+ :

النشاط الإشعاعي β^+ تفتت نووي طبيعي و تلقائي يظهر عموما بالنسبة للعناصر الإشعاعية الإصطناعية حيث تتحول خلاله نواة أصلية $^{A}_{Z}X$ إلى نواة متولدة $^{A}_{Z-1}Y$ ببعث بوزترون $^{0}_{+1}e$:

معادلة التحول النووي : $$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$$



❖ **مثال : الفوسفور $^{30}_{15}P$ اشعاعي النشاط β^+ :**

$$^{30}_{15}P \longrightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{+1}e$$

❖ **ملحوظة :**

تختلف β^- و β^+ في الشحنة فقط فهما لهما نفس الخصائص.

د – النشاط الإشعاعي γ :

النشاط الإشعاعي γ عبارة عن موجات كهرمغنطيسية (فوتونات) ذات طاقة عالية جدا, و هو يواكب الأشطة الإشعاعية α و β^- و β^+ حيث تكون النواة المتولدة في حالة إثارة و لفقدان طاقتها فإنها تتحررها ببعث أشعة γ :

معادلة الإشعاع : $$^{A}_{Z}Y^{*} \longrightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma$$

❖ **مثال :**

إشعاع β^- $$^{16}_{7}N \longrightarrow {}^{16}_{8}O^{*} + {}^{0}_{-1}e$$

إشعاع γ $$^{16}_{8}O^{*} \longrightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma$$

❖ **ملحوظة :**

- طول موجتها $10^{-4}\,nm$

- سرعتها تساوي سرعة الضوء.

- كثيرة الإختراق أكثر ب 100 من β يمكن توقيفها بقطعة رصاص سمكها عشرات السنتيمترات.

3 – الفصيلة المشعة :

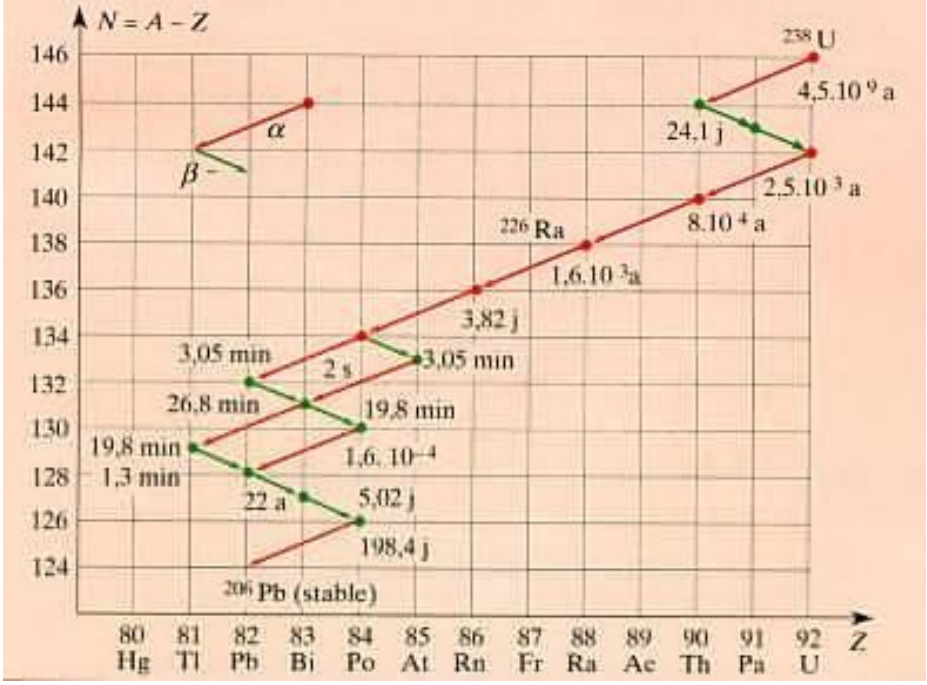
تتحول نواة غير مستقرة إلى نواة أخرى و إذا كانت هذه الأخيرة غير مستقرة فإنها تتحول هي الأخرى حتى نحصل على نواة مستقرة.

❖ **الفصيلة المشعة : هي مجموع النوى الناتجة عن نفس النوى الأصلية .**

- توجد 4 فصائل مشعة تنحدر من النوى التالية :

$$^{232}_{90}U \ , \ ^{237}_{93}Np \ , \ ^{235}_{92}U \ , \ ^{238}_{92}U$$

❖ **مثال : الفصيلة المشعة للأورانيوم $^{238}_{92}U$ حيث النواة المستقرة هي الرصاص 206**



III – التناقص الإشعاعي :

1 – النشاط الإشعاعي :

النشاط الإشعاعي ظاهرة عشوائية تحدث تلقائيا حيث لا يمكن التنبؤ باللحظة التي يحدث فيها التفتت ولا يمكن تغيير خاصيات هذه الظاهرة .

2 – قانون التناقص الإشعاعي :

نعتبر عينة تحتوي على عدد النويدات مشعة في اللحظة t .

يتناقص عدد النويدات ليصبح N(t) عند اللحظة t .

و يصبح عدد النويدات المتبقية عند اللحظة t + dt هو N(t) + dN(t) حيث dN(t) < 0 لأن N تتناقص).

إذن خلال المدة dt يكون عدد النويدات المتفتتة هو : N(t) – (N(t) + dN(t)) = - dN(t)

تبين الدراسة الإحصائية لعينة أن عدد النويدات المتبقية dN(t) – يتناسب مع N(t) عدد النويدات المتبقية و dt :

حيث $-dN(t) = \lambda N(t).dt$

وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى : $\frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda N(t).dt$

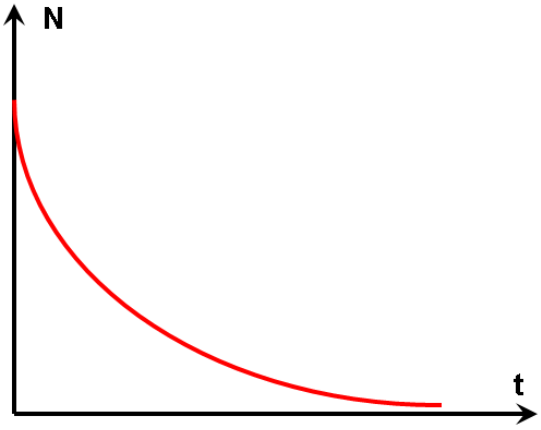
حلها : $N(t) = k.e^{-\lambda t}$

$N(t=0) = N_0.e^0 = N_0 \quad \Rightarrow \quad k = N_0$

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

يخضع عدد النوى N(t) المتبقية في عينة مشعة لقانون التناقص الإشعاعي التالي : $N(t) = N_0.e^{-\lambda t}$

حيث λ : تسمى ثابتة النشاط الإشعاعي (أو ثابتة التفتت) و حدتها s^{-1} و هي تميز طبيعة النويدة المشعة و N_0 عدد النوى اللحظة t=0 :



3 – ثابتة الزمن – عمر النصف :

أ – ثابتة الزمن τ :

ثابتة الزمن τ هي ثابتة تميز النويدة المشعة و تعرف بالعلاقة : $\tau = \frac{1}{\lambda}$

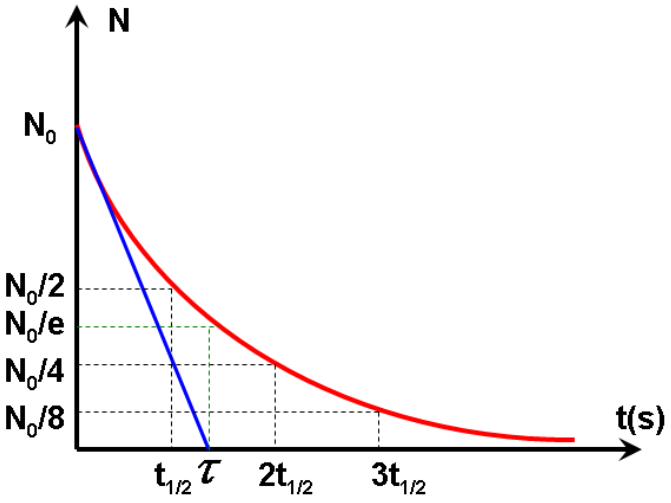
يصبح قانون التناقص الاشعاعي كالتالي : $N(t) = N_0.e^{-\frac{t}{\tau}}$

عند اللحظة : $t = \tau$ $N(t=\tau) = N_0.e^{-\frac{\tau}{\tau}} = N_0.e^{-1}$

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

إذن عند اللحظة $t = \tau$ يتبقى من العينة 37% و هو ما يمثل نقصان في عدد النوى البدئية N_0 بالنسبة 67% .

τ هو أفصول تقاطع المماس للمنحى $N = f(t)$ مع محور الأفاصيل عند $t = 0$



ب – عمر النصف $t_{1/2}$:

عمر النصف $t_{1/2}$ هو المدة الزمنية اللازمة لتفتت نصف عدد نوى عينة.

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

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda.t_{1/2}}$$

$$-\ln 2 = -\lambda . t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$N(t) = \frac{N_0}{2^n} \quad \text{مع} \quad n = \frac{t}{t_{1/2}}$$

$$n = 0 \Rightarrow N(t) = N_0$$

$$n = 1 \Rightarrow N(t) = \frac{N_0}{2}$$

$$n = 2 \Rightarrow N(t) = \frac{N_0}{4}$$

$$n = 3 \Rightarrow N(t) = \frac{N_0}{8}$$

$$n = 4 \Rightarrow N(t) = \frac{N_0}{16}$$

$$n \to \infty \Rightarrow N(t) = \frac{N_0}{2^{\infty}} \to 0$$

4 – نشاط عينة مشعة (سرعة التفتت) :

❖ تعريف :

النشاط الإشعاعي هو عدد النوى المتفتتة في وحدة الزمن نعبر عنه بالعلاقة :

$$a(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$$

وحدته هي بيكريل Bq (Becquerel) يمثل 1Bq تفتت واحد في الثانية.

$$a(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = -\frac{d}{dt} N_0 . e^{-\lambda . t}$$

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

$$a_{0.} = \lambda . N_0 \quad \text{مع} \quad a(t) = a_0 . e^{-\lambda . t}$$

✓ **يتم قياس النشاط الاشعاعي بواسطة عداد جيجر Geiger .**

❖ أمثلة :

المصدر المشع	النشاط ب Bq
رجل كتلته 70kg	7000
1l من الماء المعدني	10
1kg من السمك	100
1kg من البلوتونيوم	2.10^{12}

❖ تطبيق :

في اللحظة $t=0$ لدينا عينة من الصوديوم المشع $^{24}_{11}Na$ كتلتها $m_0=64mg$:

1 – ما هو عدد النوى الموجودة في العينة عند اللحظة $t=0$ ؟

2 – علما أنه عند اللحظة $t=74h$, أصبحت كتلة العينة $m=2mg$:

2 – 1 ما هو عدد النوى الموجودة في العينة عند اللحظة $t=74h$ ؟

2 – 2 أحسب عمر النصف للصوديوم المشع $^{24}_{11}Na$ ؟

2 – 3 أوجد ثابتة النشاط الاشعاعي λ للصوديوم $^{24}_{11}Na$ ؟

نعطي : عدد أفوكادرو : $N_A=6{,}02.10^{23}mol^{-1}$

IV – التأريخ بالنشاط الاشعاعي :

1 – التأريخ بالكربون 14 :

تحتوي جميع الكائنات الحية (الانسان و الحيوان و النبات) على الكربون الذي تتبادله عن طريق الجو (التنفس و التركيب الضوئي) أو التغذية .

يتوفر عنصر الكربون أساسا على على نظيرين الكربون $^{12}_{6}C$ و هو مستقر و الكربون $^{14}_{6}C$ و هو اشعاعي النشاط β^- الناتج عن تفاعل نوى الأزوت مع نوترونات الأشعة الكونية :

$$^{14}_{7}N+^{1}_{0}n\longrightarrow ^{14}_{6}C+^{1}_{1}H$$

و عند موت الكائنات الحية تبدأ نسبة الكربون $^{14}_{6}C$ بالتناقص وفق معادلة التفتت التالية :

$$^{14}_{6}C\longrightarrow ^{14}_{7}N+^{0}_{-1}e$$

بتطبيق قانون التناقص الاشعاعي : $a(t)=a_0.e^{-\lambda.t}$

$$\frac{a(t)}{a_0}=e^{-\lambda.t}$$

$$\ln\frac{a(t)}{a_0}=-\lambda.t=-\frac{\ln 2}{t_{1/2}}.t$$

$$t=-\frac{t_{1/2}}{\ln}.\ln\frac{a(t)}{a_0}$$

مع $t_{1/2}=5600ans$ عمر نصف

$a(t)$: نشاط العينة

a_0 : نشاط عينة شاهد لها نفس الكتلة

2 – التأريخ بطرق أخرى :

توجد طرق التأريخ تستعمل فيها نويدات مشعة عمر نصفها كبير جدا. وتمكن من تأريخ عينات أكثر قدما.

لتأريخ عينات قديمة جدا كالصخور يستعمل الأرانيوم ^{238}U ذي العمر عمر النصف $t_{1/2}=4{,}5.10^9\,ans$ وقد مكن تقدير عمر نصف الكرة الأرضية وهو حوالي $4{,}5ans$

❖ تطبيق :