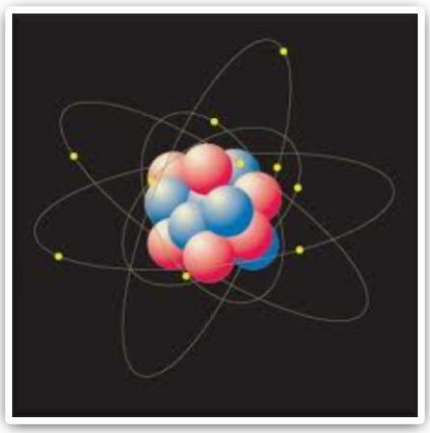
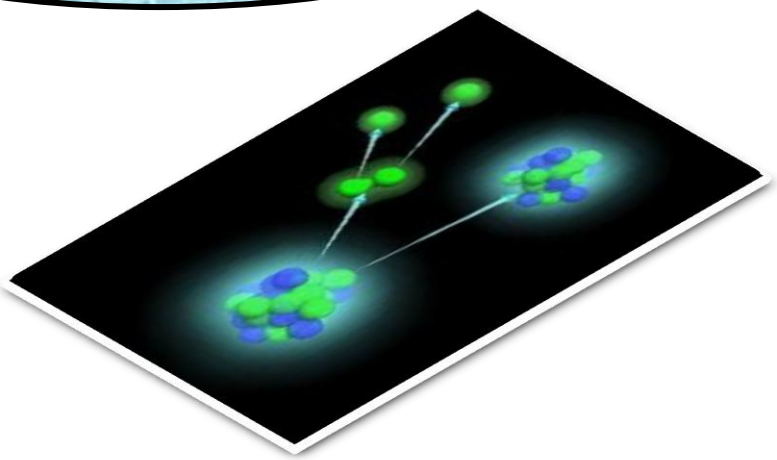
تم تحميل هذا الملف من موقع Talamidi.com

التناقص الإشعاعي





النشاط الإشعاعي تفتت تلقائي لبعض الذرات غير المستقرة، يصاحب هذا التفتت إشعاعات جسيمية و ربما كهرمغنطيسية .
اكتشاف النشاط الإشعاعي هو أحد المحاور التاريخية للعلوم . حيث مكنت الدراسات من فهم البنية الميكروسكوبية للمادة و كذا طبيعة القوى المتدخلة ، و أعطت معنى آخر للظواهر الفيزيائية الماكروسكوبية .
النشاط الإشعاعي أصل اكبر النظريات في القرن العشرون : النسبية ، الميكانيك الكمية و فيزياء الدقائق .

1) النوى المشعة .

1 - 1) تركيب النواة .

منذ 1920 حيث طرح إرنيست روترفورد (Ernest Rutherford) فرضية وجود النوترون ، و سنة 1932 حيث برهن شادويك (Chadwick) عن صحة هذه الفرضية . أصبح ما بداخل نواة الذرة معروفا . إلى جانب النوترونات تتواجد بشكل مستقر بروتونات موجبة .

	بروتون	نوترون
الكتلة	$m_p = 1{,}673.10^{-27}\ kg$	$m_n = 1{,}675.10^{-27}\ kg$
الشحنة الكهربائية	$q_p = \|e\| = +1{,}602.10^{-19}\ C$	$q_n = 0$

تتكون نواة ذرة من نويات (بروتونات و نوترونات) : نرمز للعدد الإجمالي للنويات بالحرف A و يسمى عدد الكتلة ، بينما نرمز لعدد البروتونلت بالحرف Z و يسمى بالعدد الذري أو عدد الشحنة . نستنتج أن عدد النوترونات هو $N = A - Z$.
نواة الذرة المقرونة بالعنصر الكيميائي X لها التمثيل التالي :

$$^{A}_{Z}X$$

مثلا : $^{35}_{17}C\ell$ يمثل رمز نواة الكلور و التي تتكون من 35 نوية : 17 بروتون و 18 نوترون .

في الطبيعة يوجد 90 عنصر كيميائي . لكن ، المعروف أن هناك 1500 نواة مختلفة ، منها 350 في حالة طبيعية : هذا يعني أن كل عنصر يوافق عدة نوى ، و التي تختلف فيما بينها في عدد النوترونات .
كل النوى التي توافق نفس العنصر (نفس العدد الذري Z) و لكن لها عدد نوترونات مختلف تسمى **نظائر (isotopes)** .
مثلا : $^{12}_{6}C$ و $^{14}_{6}C$ نظائر عنصر الكربون $(Z = 6)$.

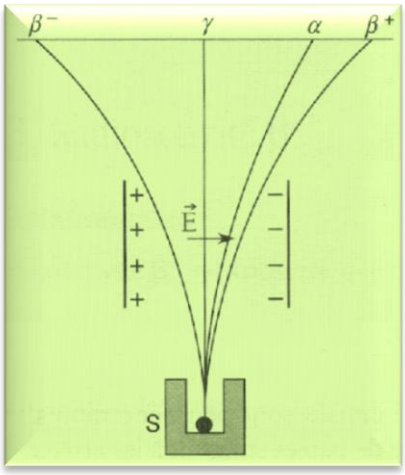
1 - 2) النشاط الإشعاعي لبعض النوى .

في النواة ، البروتونات التي تحمل شحنة موجبة مبدئيا تتنافر فيما بينها نتيجة القوى الكهرساكنة . لكن ، تأثير آخر ، أقوى و لا يؤثر إلا في حدود مسافات متناهية في الصغر ، تضمن تماسك النواة : إنها التأثيرات البينية النووية القوية الحاصلة بين النويات .
يرجع استقرار نواة من عدمه إلى هذه التأثيرات المتبادلة القوية بين النويات و التأثيرات الكهرساكنة بين البروتونات داخل النواة .

*** ملحوظة :** قوى التجاذب الكوني مهملة أمام هذه القوى .

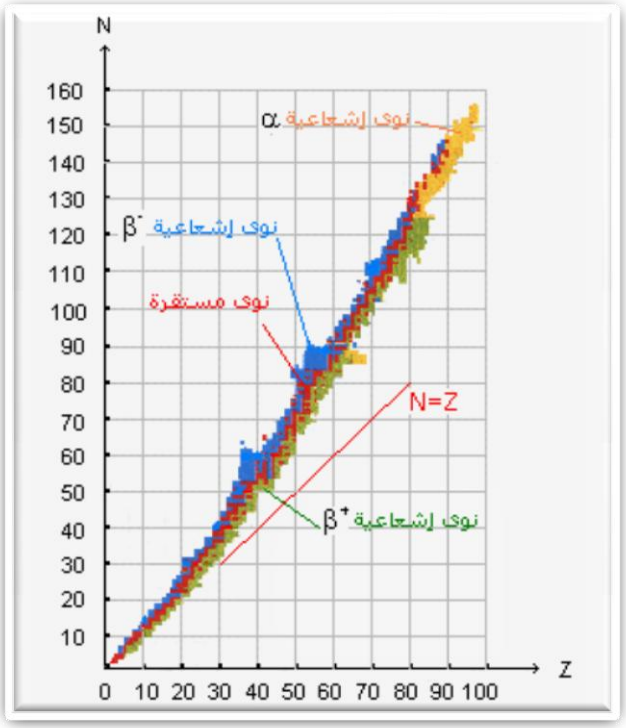
Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع

النواة غير المستقرة نواة مشعة حيث يمكن أن تتفتت تلقائيا إلى نواة أكثر استقرارا مع انبعاث دقائق نووية .
عندما تخضع هذه الدقائق لمجال كهرساكن يوجد بين صفيحتي مكثف نلاحظ :
- أن بعضها لا ينحرف ، تسمى أشعة γ **(gamma)** .
- أن بعضها ينحرف و تنجذب نحو الصفيحة السالبة (بها شحنة موجبة)، تسمى α **(alpha)** .
- أن بعضها ينحرف أكثر من الدقائق α ، و بها إما شحنة موجبة أو شحنة سالبة ، تسمى β **(beta)** : (β^- و β^+) .



1 - 3) مخطط سيغري (Segrè) .

يبيِّن المخطط (N,Z) أو مخطط سيغري جميع النوى المعروفة إلى يومنا هذا . يسمح مخطط سيغري بدراسة استقرار النواة بدلالة عدد البروتونات و النترونات .



✓ بالنسبة للنوى ذات العدد الذري $Z<20$ توافق النواة المستقرة المستقيم $(N=Z)$ حيث عدد البروتونات مساو لعدد النوترونات .

و يمكن كتابة $\frac{A}{Z}=2$.

✓ بالنسبة للنوى ذات العدد الذري $Z>20$ توجد النوى المستقرة فوق المستقيم $(N=Z)$ حيث تكبر النسبة $\frac{A}{Z}$ لتقارب القيمة $2,5$.

✓ بالنسبة للنوى ذات العدد الذري $Z\geq 83$ فإنها غير مستقرة .

توجد بالمخطط منطقة وسطى (المربعات الصغيرة ذات اللون الأحمر) تسمى منطقة الإستقرار، تضم النوى المستقرة .
كل النوى الموجودة خارج منطقة الإستقرار تنتمي إلى أحد المجالات التالية :
- المجال α : به نوى ثقيلة $Z\geq 83$ و التي تبعث نواة الهيليوم ^4_2He (الدقيقة α)
- المجال β^- :يوجد فوق مجال الإستقرار و به النوى التي لها فائض من النوترونات حيث تبعث إلكترونات تسمى دقائق β^-
- المجال β^+ : يوجد تحت منطقة الإستقرارو به النوى التي لها فائض من البروتونات حيث تبعث بوزيترونات (لها نفس كتلة الإلكترون لكن تحمل الشحنة $+e$) تسمى β^+

2) طبيعة الأنشطة الإشعاعية .

النشاط الإشعاعي هو ظهور تحول نووي تلقائي لنواة غير مستقرة ، تنتج نواة جديدة و انبعاث دقيقة . و يمكن أن يواكبها انبعاث أشعة على شكل موجة كهرمغنطيسية ذات تردد جد مرتفع . النواة المتولدة تقترب (أو تصل) من منطقة الاستقرار .
كل التفاعلات النووية تحترم قوانين الانحفاظ نذكر منها قانوني صودي **(Soddy)** :
- انحفاظ الشحنة الكهربائية
- انحفاظ عدد النويات .

مثلا : $^{205}_{87}Fr \rightarrow {}^{201}_{85}At + {}^{4}_{2}He$

Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع

$$205 = 201 + 4$$
$$87 = 85 + 2$$

حيث :

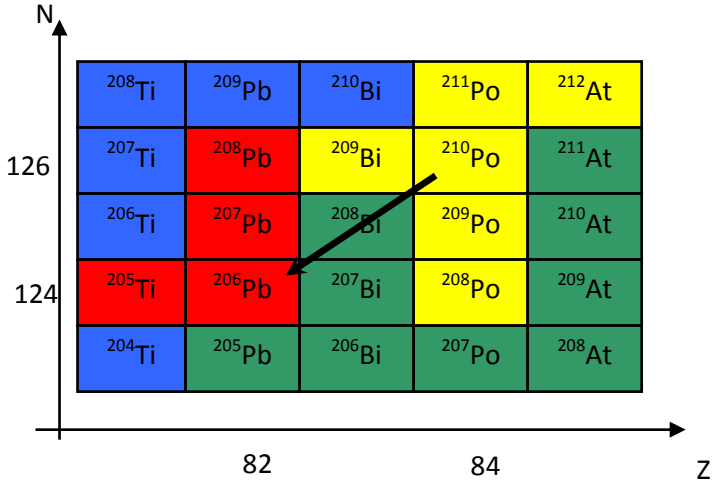
2 - 1) النشاط الإشعاعي α .

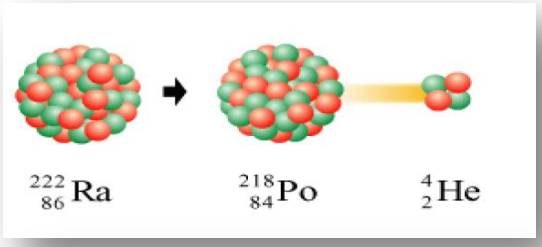
النشاط الإشعاعي α تفتت نووي تلقائي تبعث خلاله نواة ثقيلة ${}^{A}_{Z}X$ غير مستقرة دقيقة الهيليوم ${}^{4}_{2}He$ ، التي تسمى كذلك دقيقة α ،

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

فتتحول إلى نواة متولدة ${}^{A-4}_{Z-2}Y$:

مثلا:





$${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + \alpha$$
$${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + \alpha$$
$${}^{210}_{84}P\sigma \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + \alpha$$

2 - 2) النشاط الإشعاعي β^- .

النشاط الإشعاعي β^- تفتت نووي تلقائي تبعث خلاله نواة ${}^{A}_{Z}X$ غير مستقرة إلكترونا ${}^{0}_{-1}e$ يسمى كذلك دقيقة β^- ، فتتحول إلى نواة

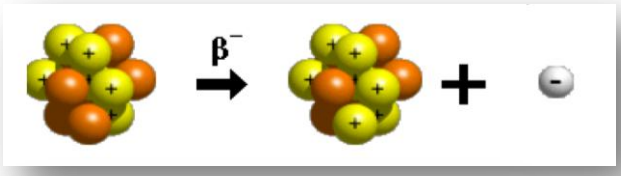
$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e $$

متولدة ${}^{A}_{Z+1}Y$:

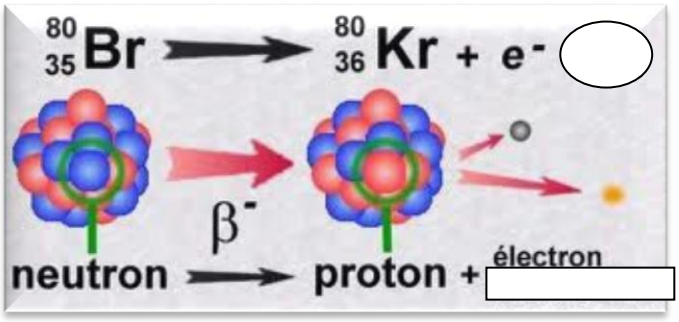
النوى التي تخضع لهذا التفتت لها فائض من النوترونات ، نفسر التحول β^- بكونه ناتج عن تحول نوترون إلى بروتون حسب المعادلة :

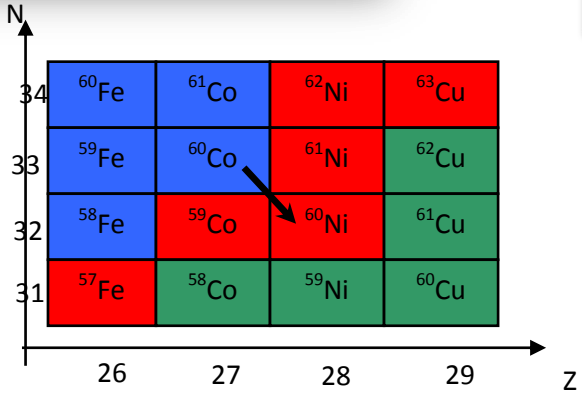
$$ {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e $$

مثلا :



$${}^{90}_{38}Sr \rightarrow {}^{90}_{39}Y + {}^{0}_{-1}e$$





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

Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع

2 - 3) النشاط الإشعاعي β^+ .

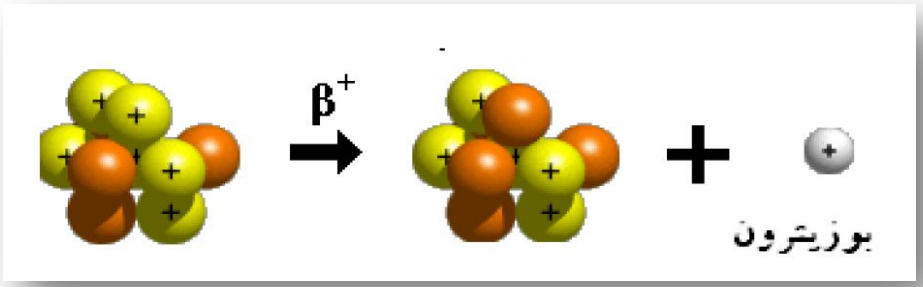
النشاط الإشعاعي β^+ تفتت نووي تلقائي تبعث خلاله نواة ${}^{A}_{Z}X$ غير مستقرة بوزيترون ${}^{0}_{+1}e$ يسمى كذلك β^+ ، فتتحول إلى نواة متولدة ${}^{A}_{Z-1}Y$:

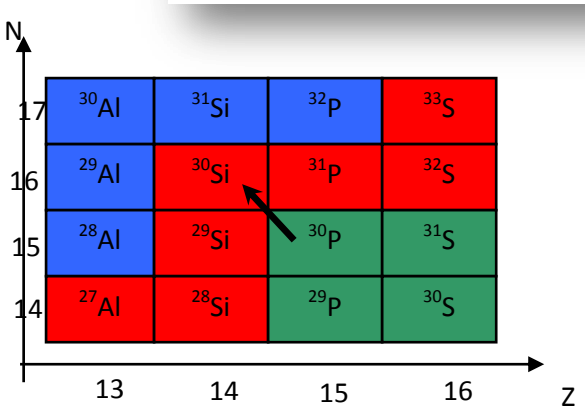
$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e $$

النوى التي تخضع لهذا التفتت لها فائض من البروتونات ، نفسر التحول بكونه ناتج عن تحول بروتون إلى نوترون حسب المعادلة :

$$ {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e $$

مثلا :





$$ {}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{1}e $$
$$ {}^{19}_{10}Ne \rightarrow {}^{19}_{9}F + {}^{0}_{1}e $$
$$ {}^{80}_{35}Br \rightarrow {}^{80}_{34}Se + {}^{0}_{1}e $$

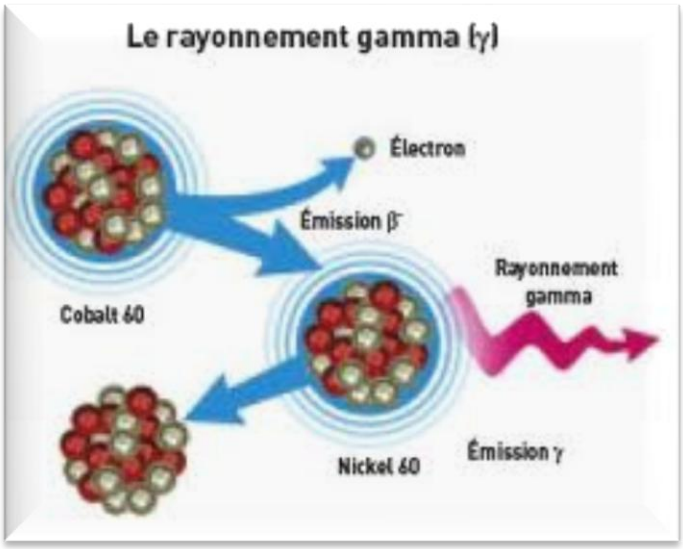
$$ {}^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{1}e $$

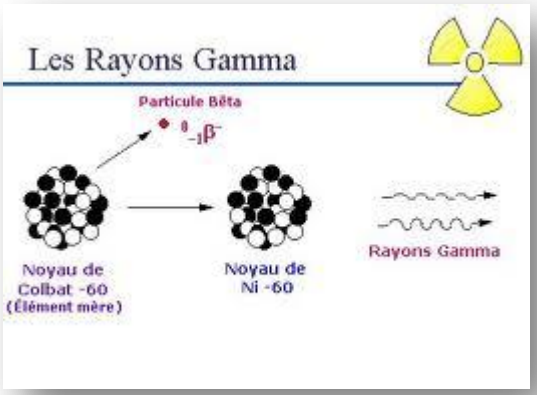
2 - 4) النشاط الإشعاعي γ .

النشاط γ عبارة عن موجة كهرمغنطيسية ذات تردد جد مرتفع $(\nu > 10^{18}\,Hz)$ شديدة النفاذية تنتقل بسرعة الضوء ، تصاحب النشاطات السابقة حيث تكون النواة المتولدة Y في حالة إثارة بسبب فائض الطاقة التي اكتسبتها و يرمز لها ب Y^* .

تعود النواة Y^* إلى حالتها الأساسية المستقرة بعد فقدان الطاقة الزائدة على شكل إشعاع γ :

$$ {}^{A}_{Z}Y^* \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma $$

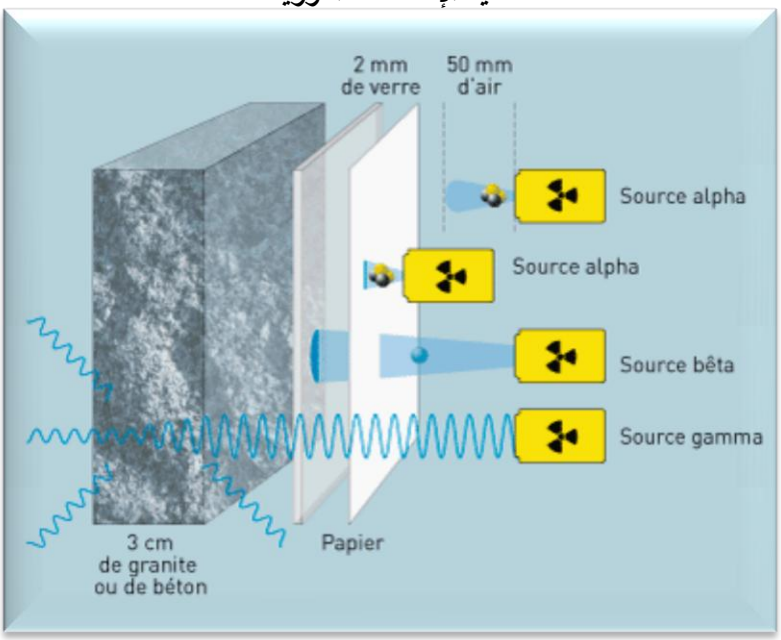




مثلا : ${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni^* + {}^{0}_{-1}e$ ثم ${}^{60}_{28}Ni^* \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + \gamma$

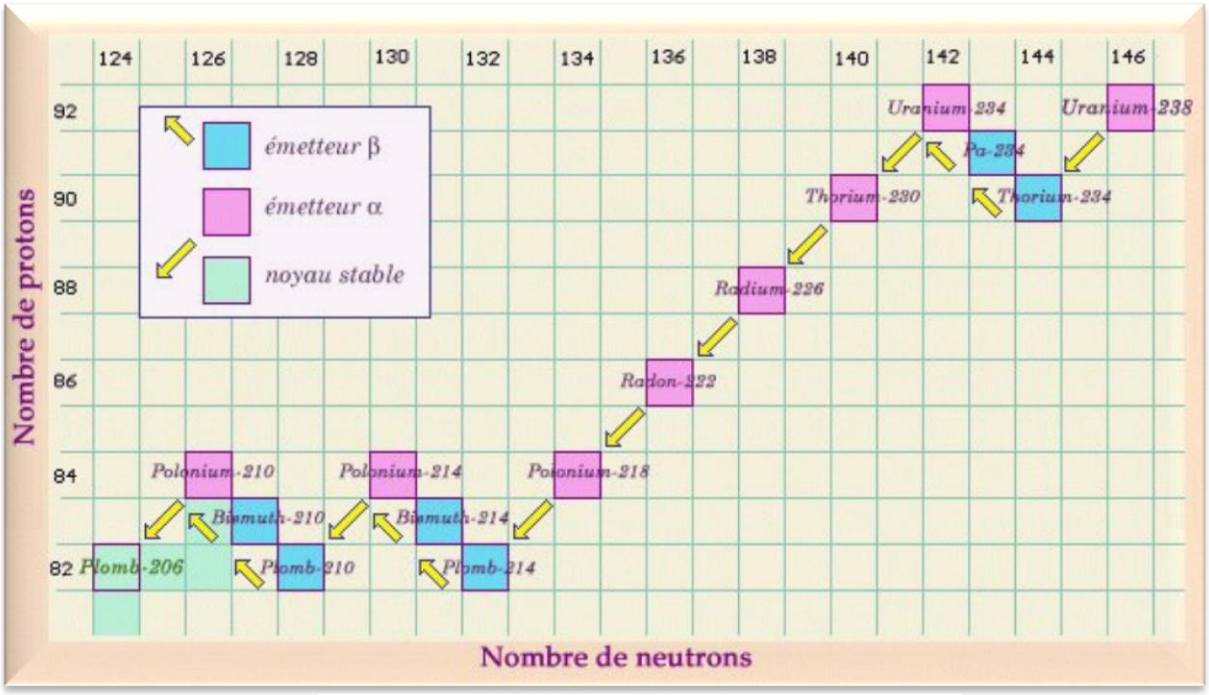
تم تحميل هذا الملف من موقع Talamidi.com

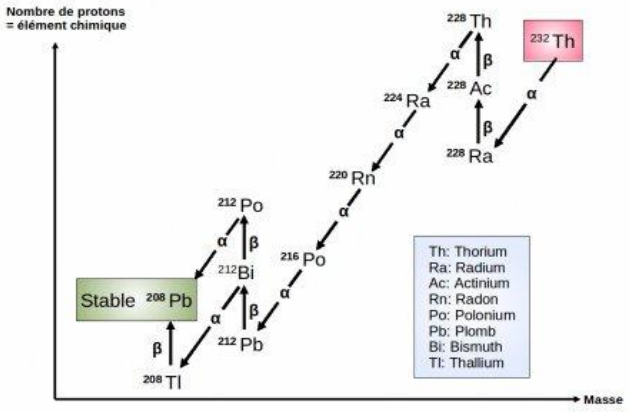
نفاذية الإشعاعات النووية



2 - 5) الفصيلة المشعة .

في بعض الأحيان تكون النواة المتولدة كذلك غير مستقرة ، فتتفتت بدورها إلى نواة أخرى . نسمي مجموع النوى المشعة الناتجة عن نفس النواة الأصلية بفصيلة مشعة .





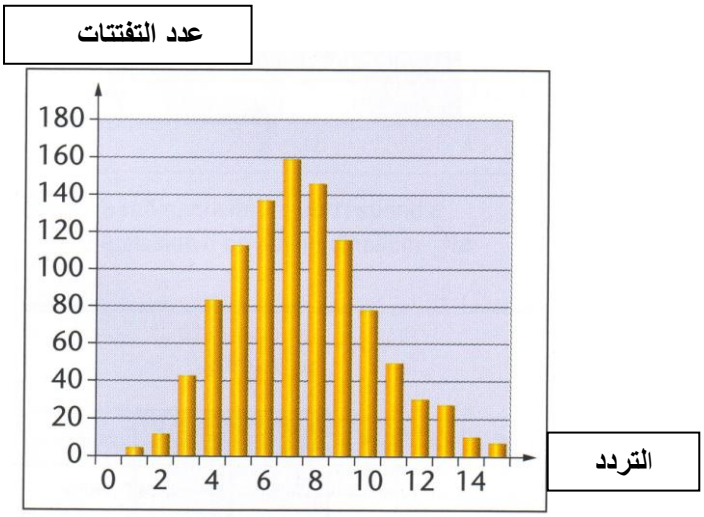
Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع

3) التناقص الإشعاعي .

3 - 1) الطبيعة العشوائية للتفتتات النووية .

بعض الأجهزة تمكن من الكشف عن التفتتات النووية (عداد غيغر) .
باستعمال عينة مشعة (مثلا ، السيزيوم 137) يمكن تعداد عدد التفتتات المنبعثة خلال مجال زمني Δt (مثلا $5s$) .
النتائج المحصل عليها مختلفة و غير متوقعة .

.



النشاط الإشعاعي ظاهرة عشوائية : لا يمكن التنبؤ مسبقا لحظة تفتت نواة ، و لا تغيير مميزات هذه الظاهرة .
الدراسة الميكروسكوبية لتطور عينة مشعة تبدو غير كافية ، لذا و جب اللوجوء إلى مقاربة إحصائية .
خلال سلسلة من القياسات ، عدد التفتتات المنبعثة في المدة Δt ، يمكن اعتبارها هي متوسط القياسات . و بذلك نمر من دراسة ميكروسكوبية إلى دراسة ماكروسكوبية .

3 - 2) النشاط الإشعاعي لعينة مشعة .

لنعتبر $N(t)$ عدد النوى المشعة المتواجدة بالعينة عند لحظة t . بعض من هذه النوى يتفتت خلال المدة Δt ، و بذلك فإن تغير عدد نوى العينة المدروسة يحقق : $\Delta N = N(t+\Delta t) - N(t)$
هذا التغير سالب لأن عدد النوى المشعة يتناقص مع مرور الزمن ، لذا نقول بأن هناك تناقص إشعاعي للعينة .

عدد التفتتات المنبعثة خلال الثانية يسمى النشاط الإشعاعي للعينة و يرمز له ب a حيث

$$a = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$$

النشاط الإشعاعي يقاس بوحدة البيكريل (Bq) حيث :
1Bq يوافق تفتت واحد في الثانية .

منبع العينة المشعة	النشاط الإشعاعي (رتبة القدر)
رجل(70 kg)	7 000 Bq
1 Lماء معدني	10 Bq
1kgسمك	100Bq
1 kgمن السماد	2000 Bq
1 kg من البلوتنيوم	2.10^{12}Bq
منبع مشع طبي	10^{14}Bq

Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع

3 - 3) نصف العمر $t_{1/2}$ لعينة مشعة .

النشاط الإشعاعي لعينة ينقص مع مرور الزمن ، لكن سرعة هذا التناقص تختلف من عنصر مشع لآخر . مثلا ، النشاط الإشعاعي لعينة من الأوكسيجين 15 تقريبا منعدم بعد مرور ساعة ؛ في حين عينة من الأورانيوم 238 تحتوي على نفس عدد النوى ، نشاطها الإشعاعي ينقص فقط بالنصف بعد مرور 4,46 مليار سنة .

لذلك نميز التناقص الإشعاعي لعينة بزمن مميز يسمى نصف العمر $t_{1/2}$:

نصف العمر لعينة مشعة هو المدة الزمنية اللازمة لكي يصبح نشاطها الإشعاعي يساوي نصف نشاطها البدئي .

العنصر المشع	نصف العمر $t_{1/2}$
الكربون14	5 730 ans
السيزيوم137	30,2 ans
اليود123	13,2 heures
الأورانيوم238	$4,46.10^9$ ans
الرادون220	58 secondes

مثلا ، بالنسبة للسيزيوم 137 ، إذا كان نشاطه الإشعاعي عند لحظة t_0 هو a_0 فإنه يصبح $\frac{a_0}{2}$ خلال **30,2ans** ، و $\frac{a_0}{4}$ خلال **60,4ans** ، $\frac{a_0}{8}$ خلال **90,6ans** ، و هكذا ..... خلال المدة $nt_{1/2}$ يصبح النشاط الإشعاعي $\frac{a_0}{2^n}$.

3 - 4) التطور الزمني .

3 - 4 - 1) قانون التناقص الإشعاعي .

لنعتبر عينة تضم $N(t)$ نوى مشعة عند لحظة t . خلال المدة Δt ، عدد النوى المتفتتة هو $-\Delta N$.

الاحتمال p لتفتت هذه النوى هو : $p = cas\ favorables / ensemble\ des\ cas = -\frac{\Delta N}{N}$

هذا الاحتمال يتناسب و المدة الزمنية Δt :

$$p = \lambda \Delta t$$

و بذلك نكتب المتساوية :

$$-\frac{\Delta N}{N} = \lambda\ \Delta t$$

أي

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda\ N$$

عندما تؤول Δt إلى 0 ، نكتب :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda\ N$$

و معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى ، حلها دالة أسية :

$$N(t) = K \exp(-\lambda t)$$

حيث K ثابتة نحددها باعتماد الشروط البدئية :

$$N(t_o = 0) = N_o \quad \Rightarrow \quad K = N_o$$

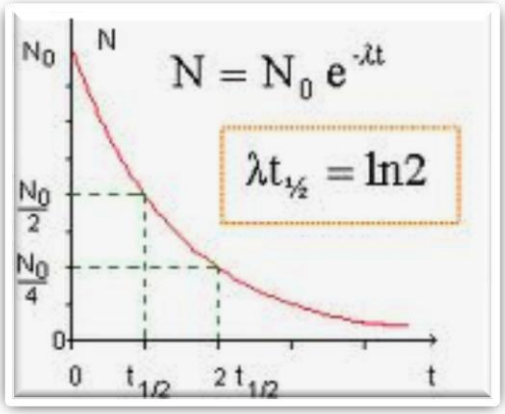
نستنتج تعبير $N(t)$ عدد النوى المشعة عند اللحظة t (قانون التناقص الإشعاعي) :

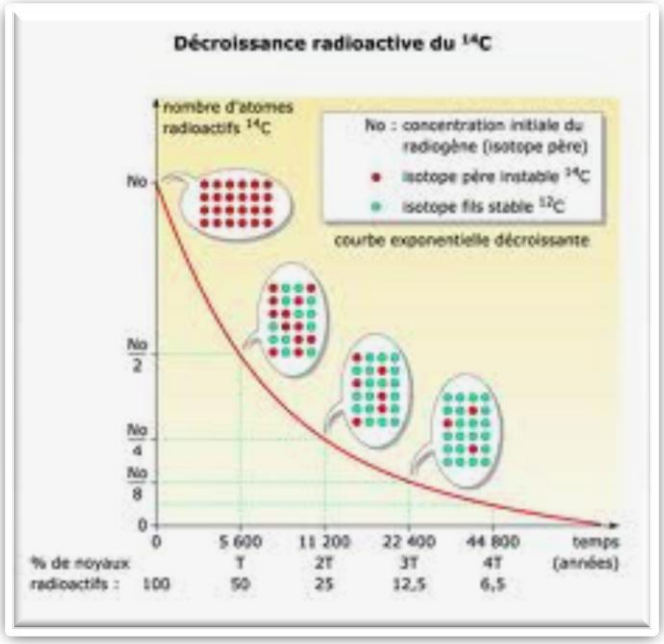
$$N(t) = N_o\ \exp(-\lambda t)$$

حيث N_0 عدد النوى المشعة عند اللحظة $t = 0$. λ تسمى الثابتة الإشعاعية المميزة للنواة وحدتها s^{-1} .

تقرن بالتناقص الإشعاعي ثابتة الزمن τ المعرفة بالعلاقة : $\tau = \frac{1}{\lambda}$ و التي توافق المدة اللازمة لكي تتفتت **63%** من النوى المشعة .

Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع





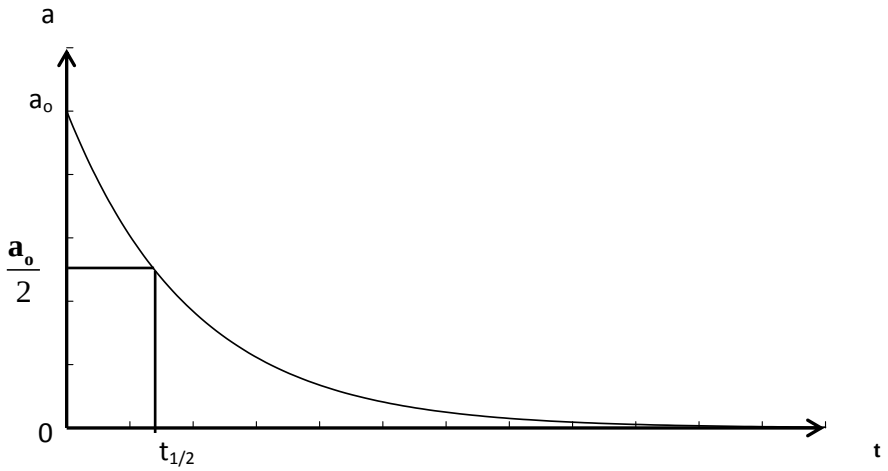
3 - 4 - 2) تطور نشاط عينة .

لدينا : $a = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$ عندما تؤول Δt إلى 0 : $a(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda N(t)$

باستعمال تعبير $N(t)$ نحصل على تعبير النشاط الإشعاعي :

$$a(t) = \lambda N_o \exp(-\lambda t) = a_o \exp(-\lambda t)$$

.



3 - 4 - 3) ثابتة الزمن لعينة مشعة .

يمكن أن نعبر كذلك عن عدد النوى المشعة عند لحظة بالتعبير : $N(t) = N_o \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$

عند اللحظة $t = \tau$ عدد النوى يساوي : $N(\tau) = N_o \exp\left(-\frac{\tau}{\tau}\right) = \frac{N_o}{e} \approx 0,37\,N_o$

و هذا يمثل تناقصا ب 63% من عدد النوى البدئية N_0 .

يمكن أن نحدد τ مبيانيا برسم مماس المنحنى $N(t)$ عند الأصل . حيث معادلة هذا المماس T_0 تكتب على شكل دالة تآلفية معاملها الموجه هو قيمة المشتقة عند $t = t_0$:

$$T_o : N = \left(\frac{dN}{dt}\right)_{t=t_o} t + N_o$$

Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع

$$\frac{dN}{dt}=\frac{d}{dt}\left(N_o.e^{-\frac{t}{\tau}}\right)=-\frac{No}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad \Rightarrow \qquad \left(\frac{dN}{dt}\right)_{t=t_o}=-\frac{No}{\tau}e^{-\frac{0}{\tau}}=-\frac{No}{\tau}$$

$$T_o : N=-\frac{N_o}{\tau}t+N_o \quad : \text{أي}$$

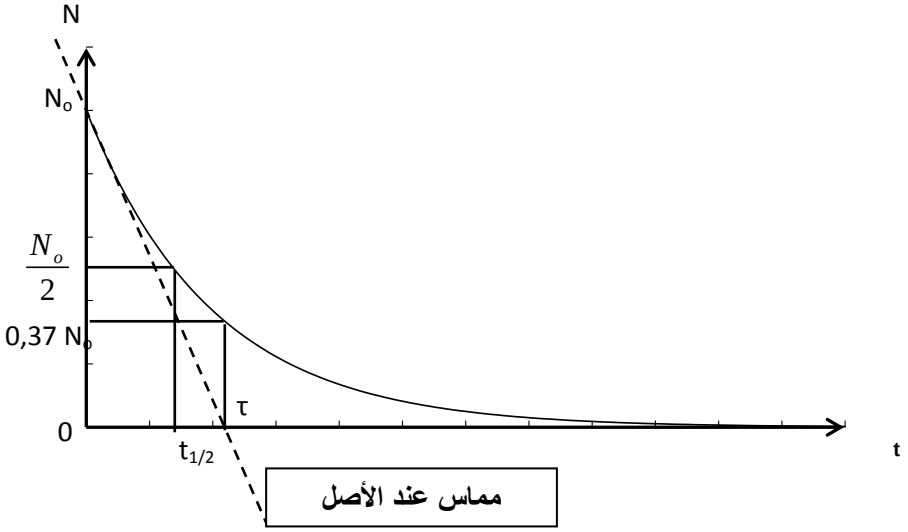
يمكن أن نتأكد من أن هذا المماس يتقاطع مع محور الأفاصيل (ذي المعادلة $N=0$) بالنسبة ل t_x حيث :

$$N=-\frac{N_o}{\tau}t_x+N_o=0$$

أي أن :

$$t_x=\tau$$

مماس المنحنى الممثل للتناقص الإشعاعي $N(t)$ عند أصل التواريخ يقطع محور الأفاصيل (محور الزمن) عند $t=\tau$ ثابتة الزمن .
التحديد المبياني ل τ نحصل عليه انطلاقا من تمثيل الدالة $a(t)$ أو الدالة $N(t)$ لأنهما دالتين متناسبتين .



3 - 4 - 4) المقادير المميزة للتناقص الإشعاعي .

لقد رأينا سابقا أن عند اللحظة $t=t_{1/2}$ يقسم النشاط الإشعاعي على 2 ، و هذا يعني أن :

$$N(t_{1/2})=\frac{N_o}{2}=N_o\exp(-\lambda t_{1/2})$$

و بذلك نكتب :

$$\exp(-\lambda t_{1/2})=\frac{1}{2}$$

أي :

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

و منه حسب مميزات اللوغاريتم :

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

و بذلك نحصل على علاقة تربط بين المقادير المميزة للتناقص الإشعاعي :

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

Talamidi.com تم تحميل هذا الملف من موقع

4) تطبيقات النشاط الإشعاعي .

4 - 1) تأثيرات الإشعاعات النووية.

يصاحب النشاط الإشعاعي انبعاث دقائق (نوى الهيليوم ، إلكترونات ، بوزيترونات ، أشعة γ) لها طاقة عالية . هذه الدقائق قادرة على انتزاع إلكترونات الذرات التي تصادفها . هذه الأخيرة تتأين و تصبح قابلة للتفاعل مع الجزيئات المحيطة بها ، كمثلا جزيئات **ADN** للخلايا الحية .

عندما تتغير جزيئة **ADN** فيمكنها أن تؤدي إلى تكون خلية سرطانية .

للوقاية من التعرض للإشعاعات النووية تستعمل عدة طرق نذكر منها لباس خاص (combinaisons) .....

فيما يلي المسفات الممكن أن تقطعها مختلف الدقائق (لها طاقة 2MeV) في مختلف الأوساط :

	α	**β**	**γ**
الهواء	10 mm	8 350 mm	121.10^3 mm
الماء	10 mm	9,6 mm	142 mm
الرصاص	2 mm	1,4 mm	13,6 mm

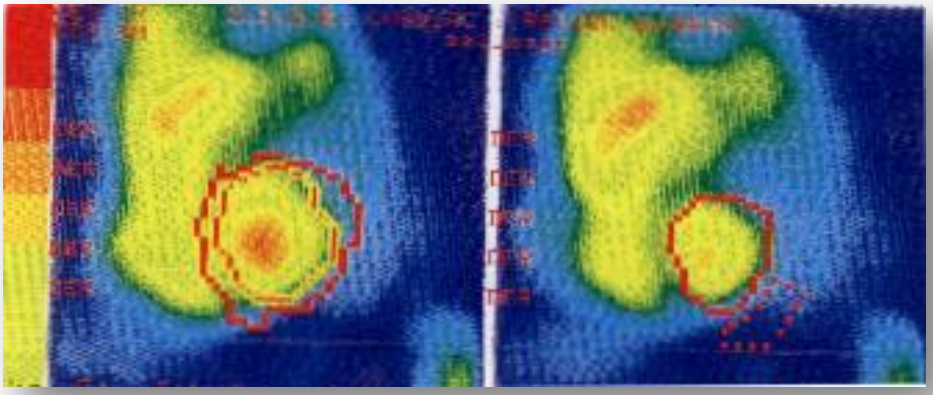
4 - 2) الاستعمالات الطبية .

تستعمل بعض النوى المشعة كمنبع للإشعاعات في التصوير الطبي (.... , scintigraphie , radiographie)

حيث يحقن المريض بجرعة من المادة المشعة ، يختار المنبع المشع لقابليته الهجرة نحو الأعضاء المراد فحصها . الإشعاع المنبعث من المنبع يسجل و يمكن من إعطاء صورة تستخلص منها عدة معلومات ،

مثلا ، يستعمل اليود $^{131}_{53}\mathbf{I}$ بالنسبة للغدة الذرقية و الفوسفور $^{32}_{15}\mathbf{P}$ بالنسبة للأورام الذماغية .

بما أن عمر النصف للعنصر المشع يكون ضعيفا يستوجب أن يكون هناك قرب بين محل إنتاج هذا العنصر و مكان العناية الطبية .



4 - 3) التأريخ بالكربون 14 .

التناقص الإشعاعي لبعض العناصر الموجودة في الصخور أو كائنات ميتة هو أصل عدة تقنيات للتأريخ . بمقارنة النشاط الإشعاعي أو كمية مادة عينة مع عينة مرجعية ، يمكن تقدير عمرها بدقة تتعلق بطريقة القياس .

طريقة التأريخ بالكربون 14 ، والتي اعتمدت تقريبا منذ 50 سنة ، مكنت من تحديد بدقة عمر أماكن تاريخية .

هذه الطريقة تستعمل بالنسبة لعينات لا يتجاوز عمرها 40000 سنة . مبدئها يرتكز بكون النسبة $\frac{\mathbf{n}\left(^{14}\mathbf{C}\right)}{\mathbf{n}\left(^{12}\mathbf{C}\right)}$ ثابتة بالنسبة لكائن حي ولا تتعلق بالزمن .

عندما يموت الكائن الحي هذه النسبة تنقص بسبب التناقص الإشعاعي للكربون 14 $(^{14}\mathbf{C})$. القياس الدقيق للنشاط الإشعاعي للعينة ، يمكن اذن بالمقارنة مع عينة مرجعية من تحديد عمر الكائن .

باعتبار $\mathbf{a_0}$ النشاط البدئي للعينة بسبب وجود الكربون 14 ، و $\mathbf{a(t)}$ نشاطها عند لحظة $\mathbf{t}$ بعد موتها فإن :

$$\mathbf{a(t) = a_o \exp(-\lambda t)}$$

أي :

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

بالنسبة للكربون 14 عمر النصف هو : $\mathbf{t_{1/2} = 5,70x10^3 ans}$ نستنتج أن :

$$\mathbf{t(années) = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln \frac{a(t)}{a_o} = 8,22.10^3 \times \ln \frac{a_o}{a(t)}}$$

تم تحميل هذا الملف من موقع Talamidi.com

4 - 4) التأريخ بطرق أخرى .

لتأريخ عينات أقدم بكثير من 40000 سنة ، نعتمد على نوى مشعة عمر نصفها كبير جدا مثل البوتاسيوم 40 ، الثوريوم 232 أو الأورانيوم 238 ؛ استعمال هذا النظير الأخير ذي عمر النصف $4,468x10^9$ **ans** مكن من تقدير عمر الأرض ب 4,55 مليار سنة.

عندما يكون التركيب البدئي للعينة غير معروف ، نفضل طريقة نقارن فيها في آن واحد نوعين من النوى المشعة ، مثلا المزدوجة ريبيديوم - سترونيوم .

عمر النصف لبعض النوى المشعة

النوى المشعة	الكربو ن 14	البوتاسيوم 40	اليود 123	الكوبالـ ت 60	السيزيو م 137	الأورانيوم 235	الأورانيوم 238	البلوتونيوم 239
عمر النصف	**5730 سنة**	**$1,3x10^9$ سنة**	**13,2 ساعة**	**5,27 سنة**	**30,2 سنة**	**$7,04x10^8$ سنة**	**$4,46.10^9$ سنة**	**$2,4x10^4$ سنة**

طريقة التأريخ	مجال صلاحيتها
الكربون 14	40000 سنة
بوتاسيوم - أرغون	10^9 سنة
روبيديوم - سيزيوم	10^9 سنة
أورانيوم - رصاص	10^9 سنة