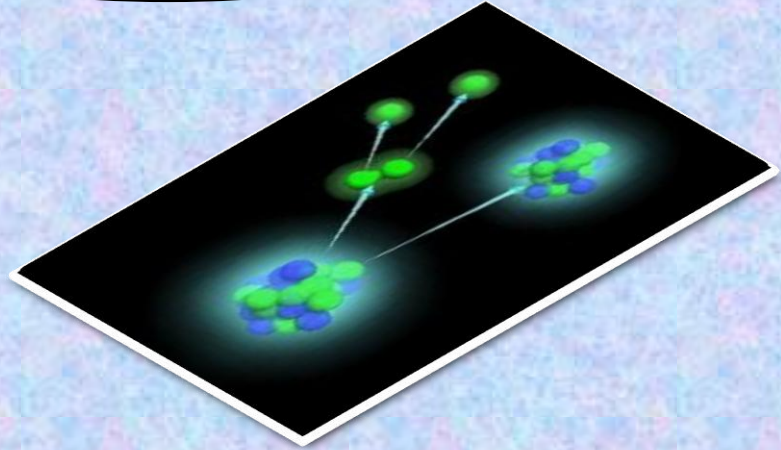
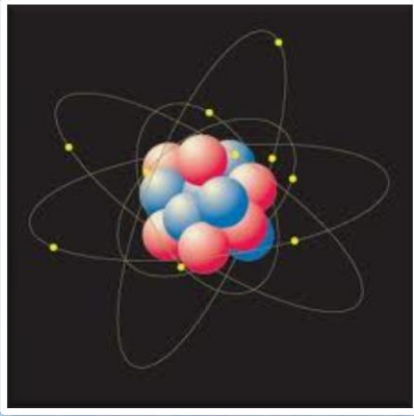


التناقص الإشعاعي



النشاط الإشعاعي تفتت تلقائي لبعض الذرات غير المستقرة، يصاحب هذا التفتت إشعاعات جسيمية و ربما كهرومغناطيسية .
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 العشرين : 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	$m_p = 1,673.10^{-27} \text{ kg}$	$m_n = 1,675.10^{-27} \text{ kg}$
الشحنة الكهربائية	$q_p = e = +1,602.10^{-19} \text{ C}$	$q_n = 0$

تتكون نواة ذرة من نويات (بروتونات و نوترونات) : نرمز للعدد الإجمالي للنويات بالحرف A و يسمى عدد الكتلة ، بينما نرمز لعدد البروتونات 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 :



مثلا : ${}^{35}_{17}Cl$ 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 .

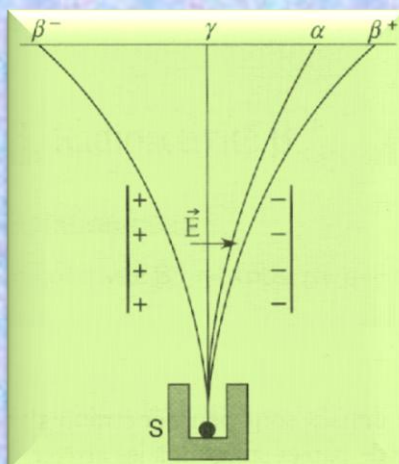
كل النوى التي توافق نفس العنصر (نفس العدد الذري Z) و لكن لها عدد نوترونات مختلف تسمى نظائر (isotopes) .
مثلا : ${}^{12}_6C$ و ${}^{14}_6C$ نظائر عنصر الكربون ($Z=6$) .

1 - 2 (النشاط الإشعاعي لبعض النوى .

في النواة ، البروتونات التي تحمل شحنة موجبة مبدئيا تتنافر فيما بينها نتيجة القوى الكهروساكنة . 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 الكهروساكنة بين البروتونات داخل النواة .

* ملحوظة : قوى التجاذب الكوني مهمة أمام هذه القوى .

- النواة غير المستقرة نواة مشعة حيث يمكن أن تنفثت 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 تتجذب 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) .

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

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

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 ${}^4_2\text{He}$ (الدقيقة α)

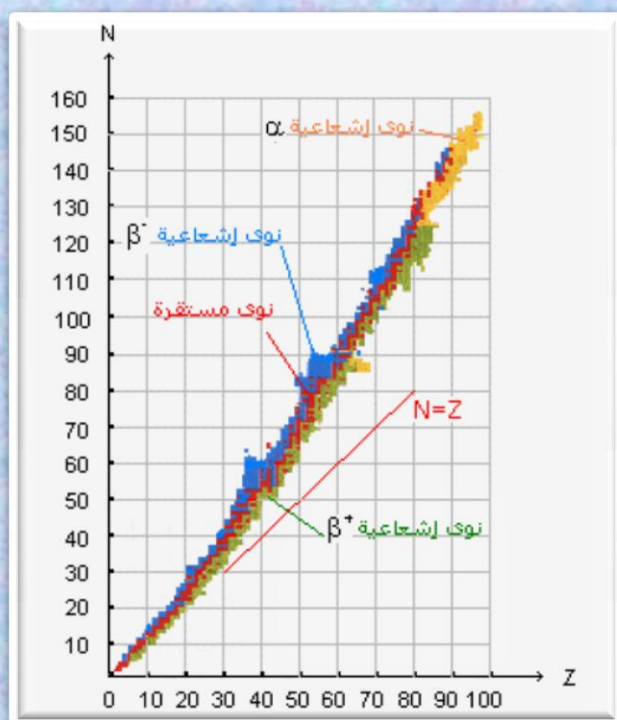
- المجال β^- : يوجد فوق مجال الإستقرار و به النوى التي لها فائض

من النيوترونات حيث تبعث إلكترونات تسمى دقائق β^-

- المجال β^+ : يوجد تحت منطقة الإستقرار و به النوى التي لها فائض

من البروتونات حيث تبعث بوزيترونات

(لها نفس كتلة الإلكترون لكن تحمل الشحنة +e) تسمى β^+



2 (طبيعة الأنشطة الإشعاعية .

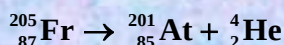
النشاط الإشعاعي هو ظهور تحول نووي تلقائي لنواة غير مستقرة ، تنتج نواة جديدة و انبعاث دقيقة . و يمكن أن يواكبها انبعاث أشعة على شكل موجة كهرومغناطيسية ذات تردد جد مرتفع . النواة المتولدة تقترب (أو تصل) من منطقة الاستقرار .

كل التفاعلات النووية تحترم قوانين الانحفاظ نذكر منها قانوني صودي (Soddy) :

- انحفاظ الشحنة الكهربائية

- انحفاظ عدد النويات .

مثلا :



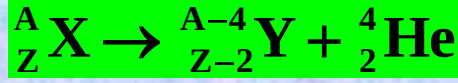
$$205 = 201 + 4$$

$$87 = 85 + 2$$

حيث :

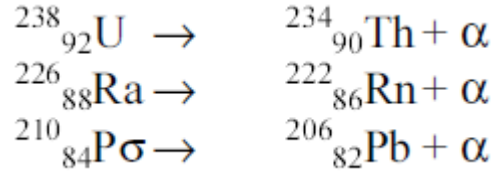
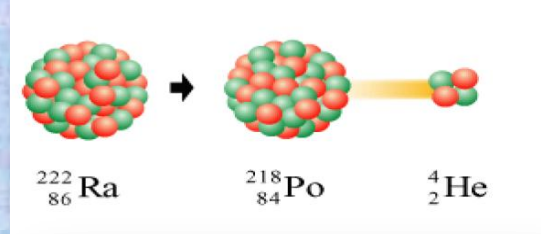
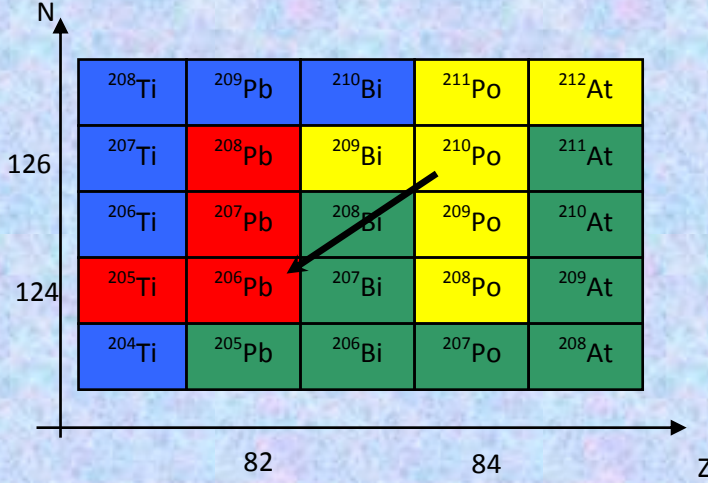
2-1) النشاط الإشعاعي α .

النشاط الإشعاعي α تفككت نووي تلقائي تبعث خلاله نواة ثقيلة A_ZX غير مستقرة دقيقة الهيليوم ${}^4_2\text{He}$ ، التي تسمى كذلك دقيقة α ،



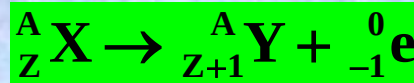
فتتحول إلى نواة متولدة ${}^{A-4}_{Z-2}Y$:

مثلا:



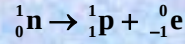
2-2) النشاط الإشعاعي β^- .

النشاط الإشعاعي β^- تفككت نووي تلقائي تبعث خلاله نواة A_ZX غير مستقرة إلكترونات ${}^0_{-1}\text{e}$ يسمى كذلك دقيقة β^- ، فتتحول إلى نواة

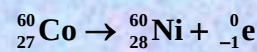
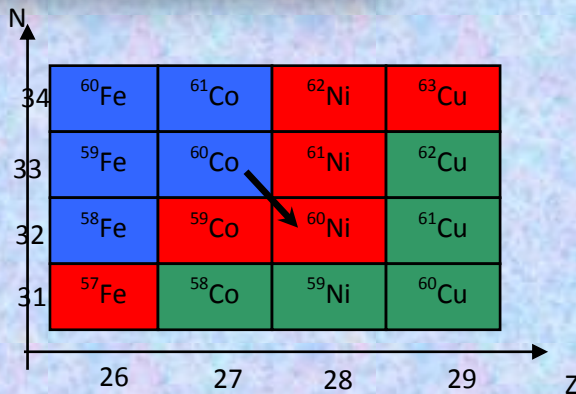
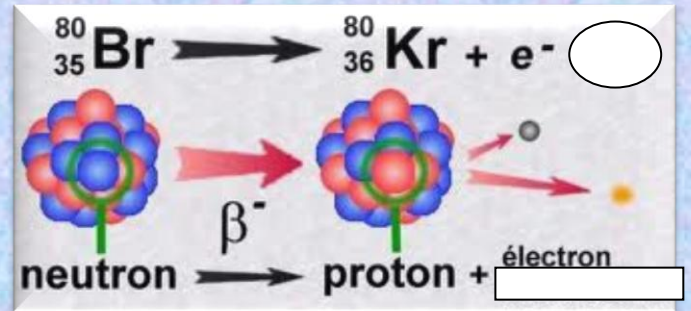
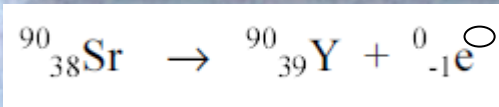
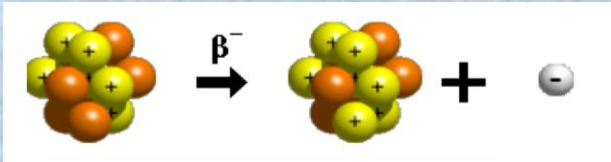


متولدة ${}^A_{Z+1}Y$:

النوى التي تخضع لهذا التفككت لها فائض من النوترونات ، نفس التحول β^- يكونه ناتج عن تحول نوترون إلى بروتون حسب المعادلة :

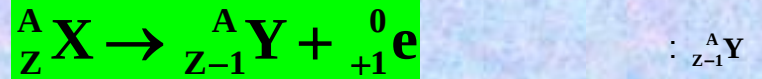


مثلا :



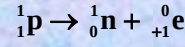
2-3 (النشاط الإشعاعي β^+)

النشاط الإشعاعي β^+ تفتت نووي تلقائي تبعث خلاله نواة A_ZX غير مستقرة بوزيترون ${}^0_{+1}e$ يسمى كذلك β^+ ، فتنحول إلى نواة متولدة

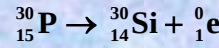
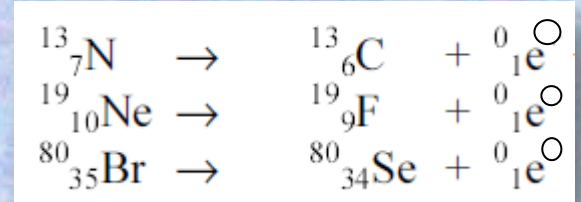
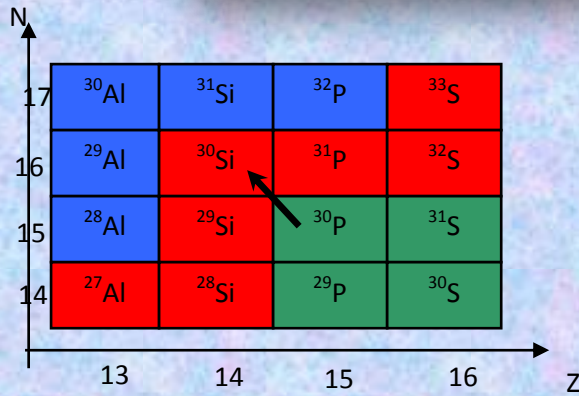
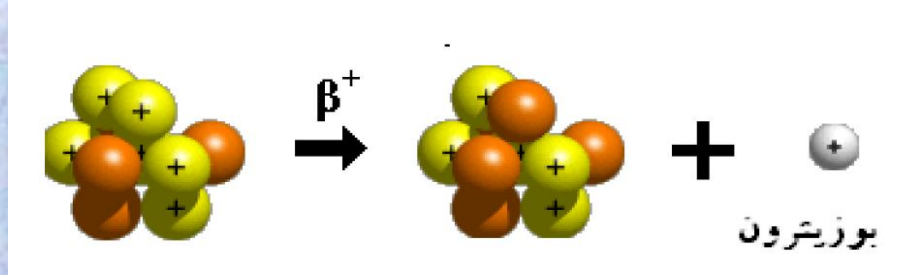


: ${}^A_{Z-1}Y$

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

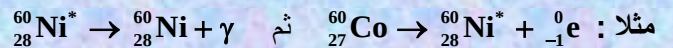
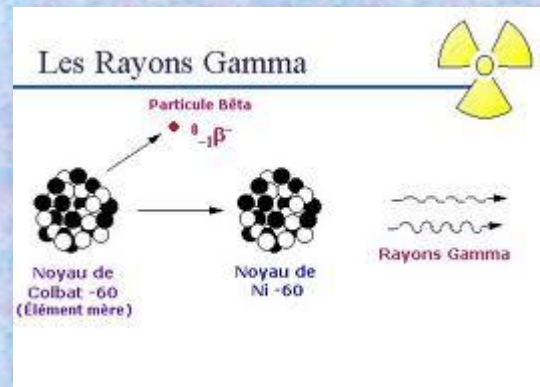
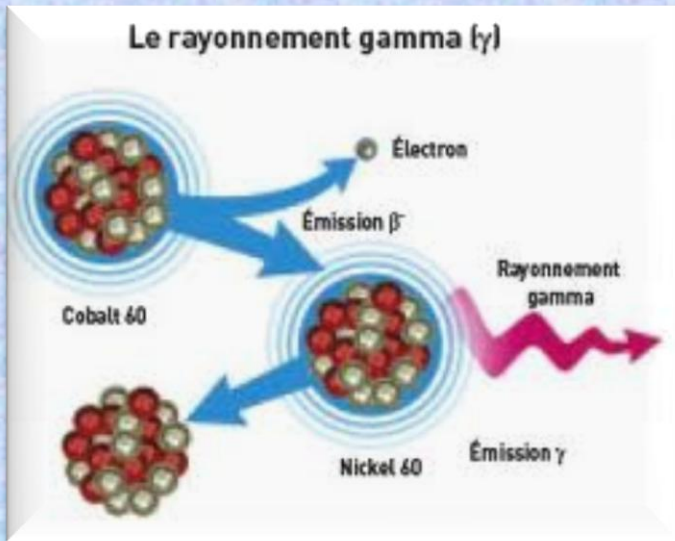
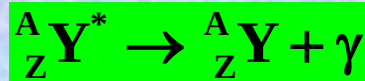


مثلا :

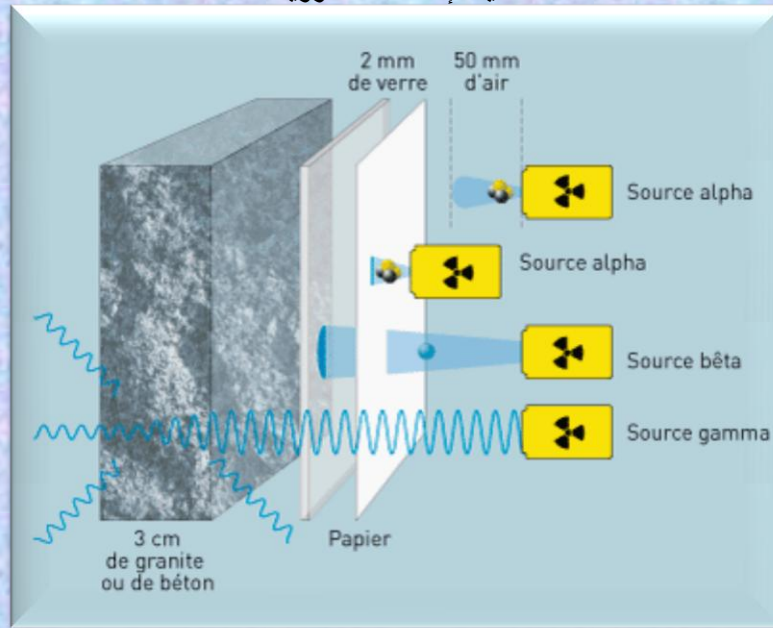


2-4 (النشاط الإشعاعي γ)

النشاط γ عبارة عن موجة كهرومغناطيسية ذات تردد جد مرتفع ($\nu > 10^{18} \text{ Hz}$) 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 :

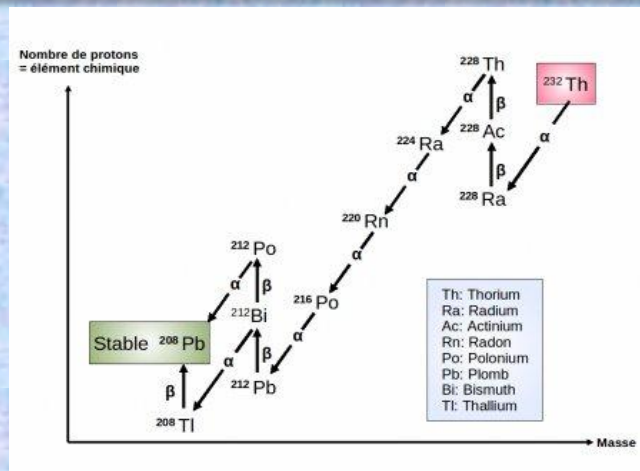
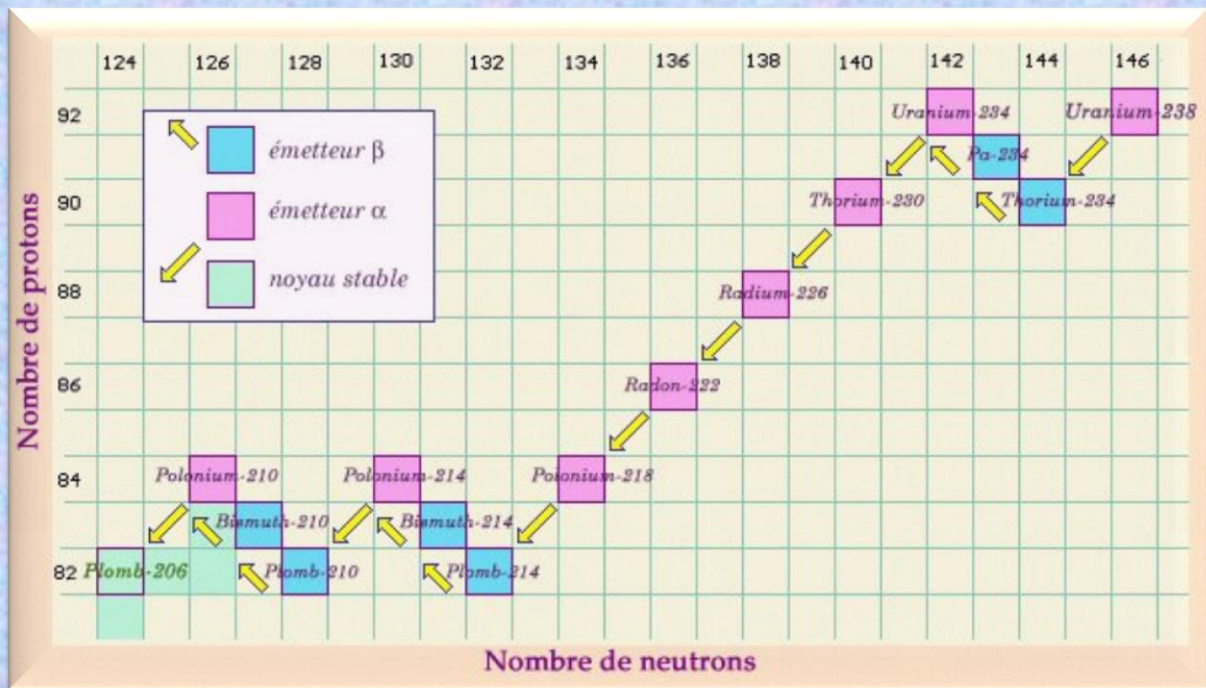


نفاذية الإشعاعات النووية



5-2) الفصيلة المشعة .

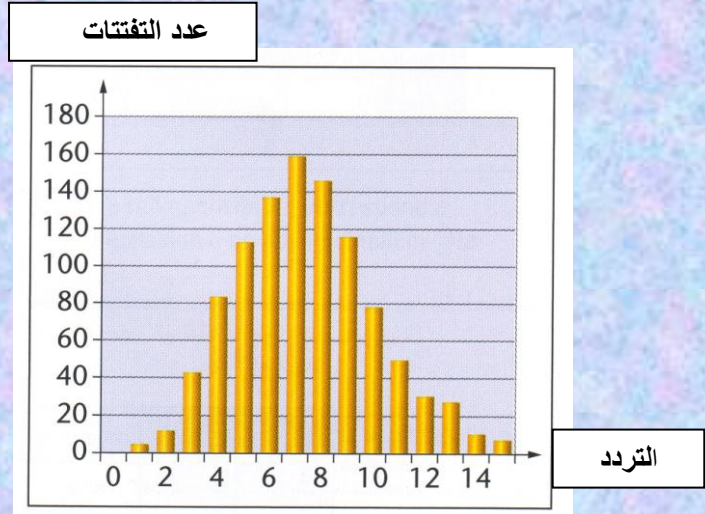
في بعض الأحيان تكون النواة المتولدة كذلك غير مستقرة ، فتتفكك بدورها إلى نواة أخرى . نسمي مجموع النوى المشعة الناتجة عن نفس النواة الأصلية بفصيلة مشعة .



3 (التناقص الإشعاعي .

3-1 (الطبيعة العشوائية للتفتتات النووية .

بعض الأجهزة تمكن من الكشف عن التفتتات النووية (عداد غير) .
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 اللجوء إلى مقارنة 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 .

النشاط الإشعاعي (رتبة القدر)	منبع العينة المشعة
7 000 Bq	رجل (70 kg)
10 Bq	1L ماء معدني
100Bq	1kg سمك
2000 Bq	1 kg من السماد
2.10^{12} Bq	1 kg من البلوتونيوم
10^{14} Bq	منبع مشع طبي

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 بزمان 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 $t_{1/2}$
الكربون 14	5 730 ans
السيوم 137	30,2 ans
اليود 123	13,2 heures
الأورانيوم 238	$4,46.10^9$ ans
الرادون 220	58 secondes

مثلا ، بالنسبة للسيوم 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 ، وهكذا 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 : $p = \text{cas favorables} / \text{ensemble des cas} = -\frac{\Delta N}{N}$:
 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 :

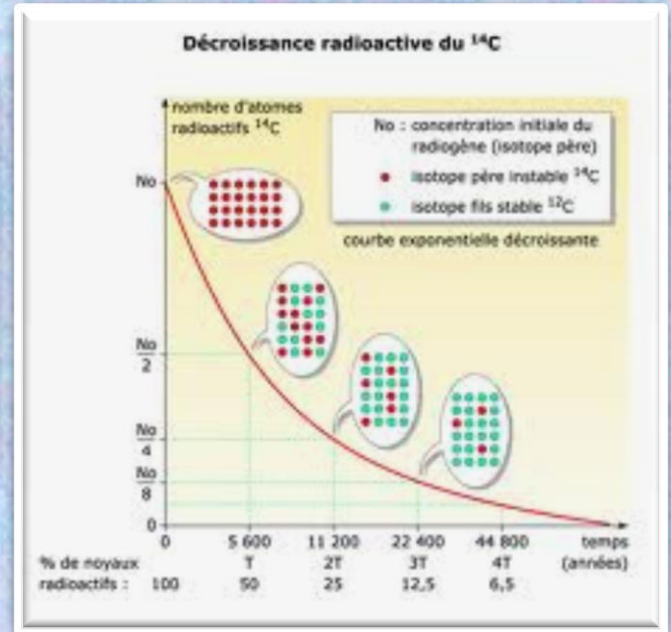
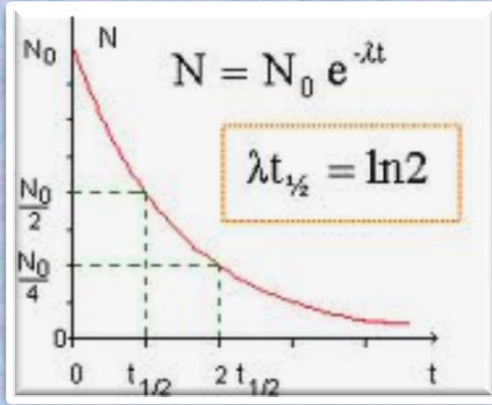
$$N(t_0 = 0) = N_0 \Rightarrow K = N_0$$

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

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

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 .



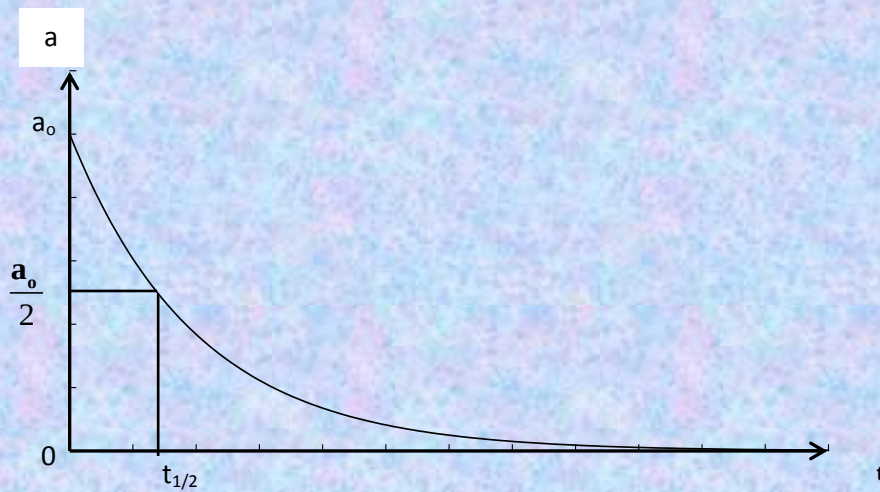
3-4-2) تطور نشاط عينة .

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

لدينا : $a = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$ عندما تؤول Δt إلى 0 :

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

$$a(t) = \lambda N_0 \exp(-\lambda t) = a_0 \exp(-\lambda t)$$



3-4-3) ثابتة الزمن لعينة مشعة .

يمكن أن نعبر كذلك عن عدد النوى المشعة عند لحظة بالتعبير :

$$N(t) = N_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

عند اللحظة $t = \tau$ عدد النوى يساوي :

$$N(\tau) = N_0 \exp\left(-\frac{\tau}{\tau}\right) = \frac{N_0}{e} \approx 0,37 N_0$$

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 $t = t_0$:

$$T_0 : N = \left(\frac{dN}{dt}\right)_{t=t_0} t + N_0$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{d}{dt} \left(N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = -\frac{N_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \left(\frac{dN}{dt} \right)_{t=t_0} = -\frac{N_0}{\tau} e^{-\frac{0}{\tau}} = -\frac{N_0}{\tau}$$

$$T_0 : N = -\frac{N_0}{\tau} t + N_0 \quad \text{أي :}$$

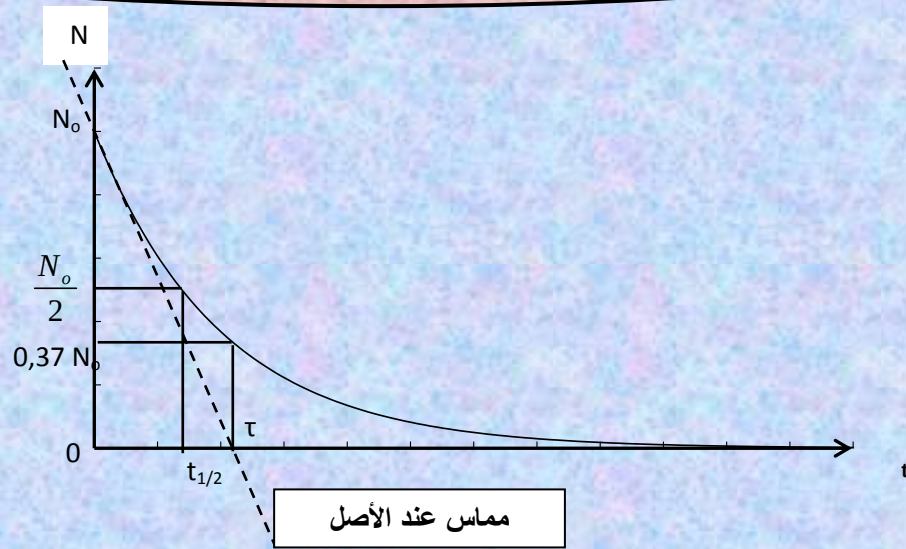
يمكن أن نتأكد من أن هذا المماس يتقاطع مع محور الأفاسيل (ذي المعادلة $N=0$) بالنسبة ل t_x حيث :

$$N = -\frac{N_0}{\tau} t_x + N_0 = 0$$

أي أن :

$$t_x = \tau$$

مماس المنحنى الممثل للتناقص الإشعاعي $N(t)$ عند أصل التواريخ يقطع محور الأفاسيل (محور الزمن) عند ثابتة الزمن $t=\tau$.
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 :

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 \exp(-\lambda t_{1/2})$$

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 :

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

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 ، كمثلاً جزيئات ADN للخلايا الحية .

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

للقاية من التعرض للإشعاعات النووية تستعمل عدة طرق نذكر منها لباس خاص (combinaisons) فيما يلي المسافات الممكنة أن تقطعها مختلف الدقائق (لها طاقة 2MeV) في مختلف الأوساط :

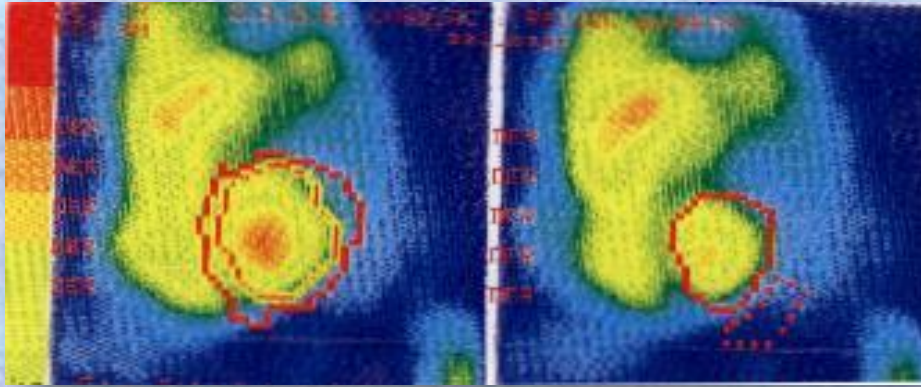
	α	β	γ
الهواء	10 mm	8 350 mm	121.10^3 mm
الماء	10 mm	9,6 mm	142 mm
الرصاص	2 mm	1,4 mm	13,6 mm

4 - 2 (الاستعمالات الطبية .

تستعمل بعض النوى المشعة كمصدر للإشعاعات في التصوير الطبي (radiographie , scintigraphie ,) 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 ،

مثلاً ، يستعمل اليود $^{131}_{53}\text{I}$ بالنسبة للغدة الدرقية و الفوسفور $^{32}_{15}\text{P}$ بالنسبة للأورام الدماغية .

بما أن عمر النصف للعنصر المشع يكون ضعيفاً 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 تقريباً منذ 50 سنة ، مكنت من تحديد بدقة عمر أماكن تاريخية .

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

تتعلق بالزمن .

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

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

$$a(t) = a_0 \exp(-\lambda t)$$

$$\ln \frac{a(t)}{a_0} = -\lambda t = -\ln 2 \frac{t}{t_{1/2}} \quad \text{أي :}$$

بالنسبة للكربون 14 عمر النصف هو : $t_{1/2} = 5,70 \times 10^3 \text{ ans}$ نستنتج أن :

$$t(\text{années}) = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln \frac{a(t)}{a_0} = 8,22 \cdot 10^3 \times \ln \frac{a_0}{a(t)}$$

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 $4,468 \times 10^9$ 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 ربيديوم - سثرونيوم .

عمر النصف لبعض النوى المشعة

النوى المشعة	الكربون 14	البوتاسيوم 40	اليود 123	الكوبال 60	السيزيوم 137 م	الأورانيوم 235	الأورانيوم 238	البلوتونيوم 239
عمر النصف	5730 سنة	$1,3 \times 10^9$ سنة	13,2 ساعة	5,27 سنة	30,2 سنة	$7,04 \times 10^8$ سنة	$4,46 \cdot 10^9$ سنة	$2,4 \times 10^4$ سنة

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



2

