التناقص الإشعاعي
Décrissance radioactive

I ـ الذرة (تذكير)

1 ـ نموذج الذرة

تتكون الذرة من نواة وإلكترونات تدور حول هذه الأخيرة .
تتكون النواة من دقائق تسمى بالنويات nucléon البروتونات (p) والنوترونات (n) .

2 ـ خاصيات نواة الذرة .

نمثل نواة ذرة لعنصر كيميائي X بالرمز $^{A}_{Z}X$.

X : رمز العنصر الكيميائي
Z : عدد البروتونات و A عدد الكتلة .
عدد النوترونات هو N=A-Z .

مثال : أحسب عدد البروتونات وعدد النوترونات لنواة الكلور $^{35}_{17}C\ell$

3 ـ النويدات nucléides

في الفيزياء الذرية يطلق اسم النويدة على مجموعة من النوى تتميز بعدد معين من البروتونات ومن النوترونات .
نعرف نويدة بإعطاء Z و A . مثلا $^{12}_{6}C$ و $^{14}_{6}C$ نويدتان لعنصر الكربون .

4 ـ النظائرية

النظائر ، نويدات تحتوي على نفس عدد البروتونات وتختلف من حيث عدد النوترونات
مثال : $^{35}_{17}C\ell$ و $^{37}_{17}C\ell$ نظيرين لعنصر الكلور .

- **الوفارة الطبيعية** : بالنسبة لخليط طبيعي كتلته m يتكون من نظائر عنصر ما ، نعرف الوفارة الطبيعية θ_i لنظير i كتلته m_i في هذا الخليط بالعلاقة : $m=\sum m_i\theta_i$ ، ويعبر عنها بالنسبة المائوية .

مثال : الوفارة الطبيعية للأورانيوم : $^{234}_{92}U$: 0,006% ، $^{235}_{92}U$: 0,718 ، $^{238}_{92}U$: 99,276 .

5 ـ كثافة المادة النووية

تبين التجارب النووية أنه يمكن نمذجة نواة بكرية شعاعها r يتعلق بعدد الكتلة A وفق العلاقة : $r=r_0A^{1/3}$ حيث أن $r_0=1,2.10^{-15}m$ شعاع ذرة الهيدروجين .

يمكن استنتاج القيمة التقريبية للكتلة الحجمية للنواة : $\rho=\frac{mA}{\frac{4}{3}\pi r^3}=\frac{3m}{4\pi r_0^3}$

الكتلة التقريبية للنواة : $m=1,67.10^{-27}kg$ تكون الكتلة الحجمية التقريبية : $\rho\approx 2.10^{17}kg/m^3$ مما يدل على أن النواة أو **<u>المادة النووية شديدة الكثافة</u>** .

II ـ النشاط الإشعاعي

نص وثائقي :

في سنة 1986 م اكتشف العالم الفيزيائي الفرنسي بيكريل Hernie Becquerel النشاط الإشعاعي عن طريق الصدفة حينما كان يقوم بأبحاث علمية على أشعة X الحديثة الاكتشاف أنداك وذلك بتعريض أملاح الأورانيوم لأشعة الشمس ، في 26 فبراير 1896 م كان يوما غائما ، فتعذر عليه تعريض هذه الأملاح لأشعة الشمس ، فوضعها في درج مكتبه مع صفائح فوتوغرافية مكسوة بغشاء من ورق سميك أسود ومعتم .
وفي أول مارس من نفس السنة قام بيكريل بتحميض الصفائح الفوتوغرافية فلاحظ بانبهار كبير أنها متأثرة ، رغم عدم تعرضها للأشعة الشمسية .
على صفائح فوتوغرافية .
وسنتان بعد ذلك لاحظ الفيزيائيان بيير كوري وزوجته ما
اكتشفها بيكريل .
كانت هذه الاكتشافات الخطوة الأساسية لانطلاق أبحاث أخرى أدت إلى التعرف وتصنيف الأشعة المنبعثة من المواد المشعة ، حيث تم التعرف على الأشعة المنبعثة من ألأورانيوم من طرف العالمان الإنجليزيان

Moutamadris.ma

فريديريك سودي ، مبينا أنها عبارة عن نوى الهيليوم المتأينة ، وسميت أشعة α , ويعبر عن هذا الانبعاث بالمعادلة :

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$$

في سنة 1900 م تعرف بكيريل على نوع آخر من الإشعاعات النووية وهو الإشعاع β^- . وهو عبارة عن انبعاث إلكترونات $^{0}_{-1}e$ من نوى الطوريوم Th وفق المعادلة التالية : $^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{91}Pa + ^{0}_{-1}e$

وبعد ذلك أبرز العالم الفرنسي بول فيلار وجود الأشعة γ وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية غير مرئية .

استثمار :

1 ــ ما هي طبيعة الأشعة X ؟ ما رتبة قدر طول موجتها µm أو nm ؟

طبيعة الإشعاعات X هي إشعاعات غير مرئية . رتبة قدر طول موجتها nm

$$0,001nm \leq \lambda \leq 10nm$$

2 ــ كيف اكتشف بيكريل أن أملاح الأورنيوم تبعث أشعة غير مرئية ؟

عند وضعه أملاح الأورانيوم داخل درج مع صفائح فوتوغرافية وبعد يومين تبين له أن الصفائح تأثرت بأشعة شبيهة بالأشعة X أي غير مرئية .

3

لقد كان هذا الاكتشاف بالصدفة .

4 ــ ما هو النشاط الإشعاعي ؟ كيف يمكن الكشف عن مادة مشعة ؟

النشاط الإشعاعي هو تحول طبيعي تلقائي لنواة مشعة أي غير مستقرة إلى نواة أخرى وذلك بانبعاث إشعاعات نشيطة .

يمكن الكشف عن مادة مشعة

5 ــ أذكر النواتين المشعتين التي تم التعرف عليهما إلى حدود سنة 1898م .

الطوريوم $^{234}_{90}Th$ و الأورانيوم $^{238}_{92}U$

6 ــ أذكر أنواع الإشعاعات النووية الواردة في النص وحدد طبيعتها .

أشعة α وهي نوى الهيليوم $^{4}_{2}He$ والإشعاع β^- وهي عبارة عن انبعاث إلكترونات $^{0}_{-1}e$ والإشعاع γ عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ..

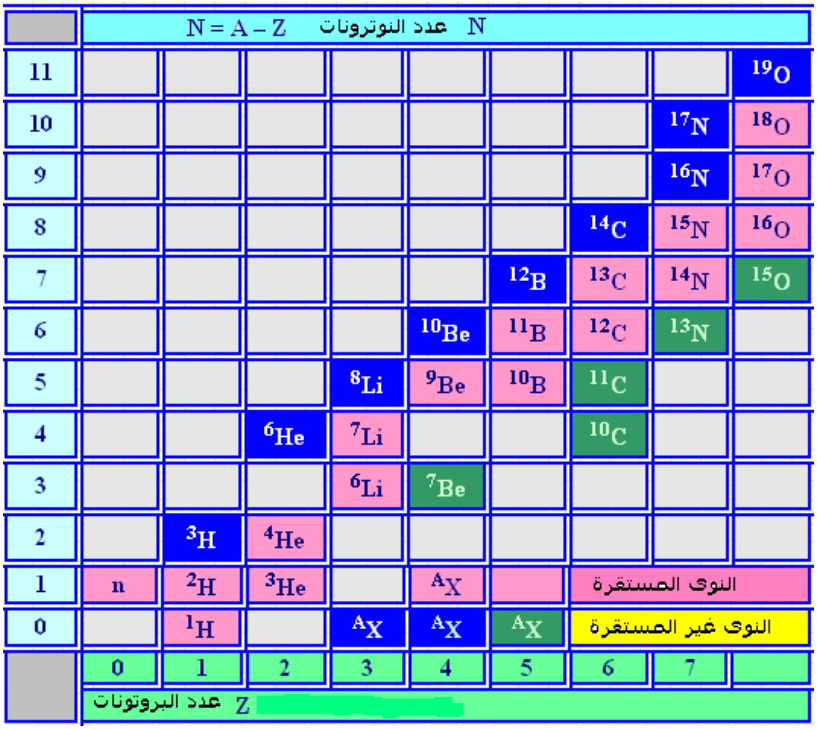
تحقق من انحفاظ كل من عدد الكتلة وعدد الشحنة في معادلتي التحولين الواردين في النص

1 ــ تعريف النشاط الإشعاعي .

النشاط الإشعاعي تحول طبيعي وتلقائي يسمى كذلك باستحالة نووية، وغير مرتقب في الزمن ، تتحول خلاله نواة غير مستقرة تسمى نواة الأصل إلى نواة أخرى تسمى بنواة متولدة أو إلى حالة إثارة أقل طاقة .

وتسمى النواة غير المستقرة **بالنواة المشعة** أو **نواة إشعاعية النشاط** والدقائق المنبعثة **بإشعاعات نشيطة .**

2 ــ مخطط سيغري ، مخطط (N,Z) .



النشاط الوثائقي 2

يفسر تماسك النواة بوجود قوى جاذبية بين النويات . لهذه القوى شدة كبيرة جدا وتسمى قوى التأثيرات البينية النووية . وهي أكبر بكثير من التأثيرات البينية الكهرساكنة وقوى التجاذب الكوني وهذا ما يجعل أن النوى مستقرة ومع ذلك توجد نويدات غير مستقرة أي تتحول تلقائيا إلى نوى أخرى بعد بعثها إشعاعات نشيطة .

كيف يمكن التنبؤ باستقرار نواة ؟

بواسطة مخطط سيغري يمكن تحديد النوى المستقرة والنوى المشعة ، حيث تمثّل كل نواة بمربع صغير أفصوله Z عدد برتونات النواة وأرتبه N عدد نوترونات النواة . ويسمى المجال الذي يحتوي على النوة المستقرة (المربعات الحمراء) بمنطقة الاستقرار ويحاديه من كل جهة النوى غير المستقرة .

استثمار :

Moutamadris.ma

1 ـ ذكر بمدلول الحرف A و Z في التمثيل $^{A}_{Z}X$ ، واعط العلاقة بين A و Z و N .

2 ـ حدد موضع النوى المستقرة بالنسبة ل Z<20 (النوى الخفيفة). بماذا تتميز هذه النوى ؟ واستنتج أن $\frac{A}{Z}$ تساوي 2 تقريبا .

النويدات المستقرة توجد قريبة من المستقيم N=Z فهي تتميز بكون أن عدد البرتونات يساوي عدد النوترونات . ويحقق عدد الكتلة A العلاقة التالية : A=2Z تقريبا .

3 ـ بالنسبة ل Z>20 أين توجد هذه النوى بالنسبة للمستقيم N=Z ؟ بماذا تتميز هذه النوى ؟ ما هو استنتاجك ؟

بالنسبة ل Z>20 تكون منطقة الاستقرار فوق المستقيم ذي المعادلة Z=N وتتميز هذه النوى بأن عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات . نستنتج أن استقرار النواة في هذه الحالة لا يمكن أن يحصل إلا إذا كان عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات .

4ـ كيف تصبح النسبة $\frac{A}{Z}$ بالنسبة للنوى الثقيلة المستقرة أي بالنسبة ل Z>70 ؟

$\frac{A}{Z} \approx 2,5$ بالنسبة للنوى الثقيلة .

5 ـ النواة $^{137}_{56}Ba$ هل هي مستقرة ؟ هل هي نشيطة إشعاعيا ؟

نفس السؤال بالنسبة ل $^{131}_{56}Ba$ و $^{144}_{56}Ba$

$^{137}_{56}Ba$ و $^{144}_{56}Ba$ و $^{131}_{56}Ba$ توجد هذه النوى في منطقة الاستقرار , فهي نوى مستقرة .

6 ـ في بحض الحالات ، وخلال تحول نووي تلقائي ، تتفتت نوترون داخل نواة إلى بروتون . في أي مجال من المخطط توجد هذه النوى التي تخضع لهذا التحول ؟

يحصل هذا التحول بالنسبى للنوى غير المستقرة وعدد نوتروناتها أكبر من عدد البروتونات .

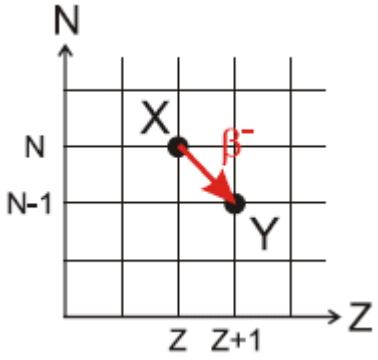
خلاصة :

منطقة الاستقرار : بالنسبة ل Z<20 هي المتطابقة مع المستقيم ذي المعادلة Z=N أي أن عدد البروتونات مساو لعدد النوتورونات .

بالنسبة ل Z>20 تتموضع منطقة الاستقرار فوق المستقيم N=Z ويكون في هذه الحالة عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات .

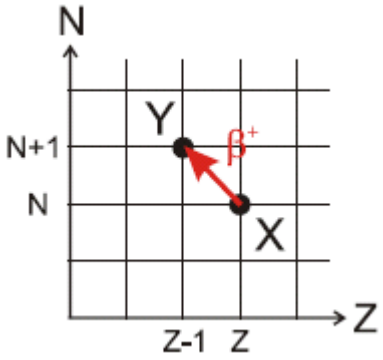
النوى غير المستقرة :

هناك ثلاث حالات :



- **النواة الأصل $^{A}_{Z}X$ توجد فوق منطقة الاستقرار .**

عدد النوترونات أكبر من عدد البرتونات في هذه الحالة تكون عندنا استحالة نووية تلقائية حيث تتحول البرتونات إلى نوترونات ويصاحب هذا التحول انبعاث إلكترونات $^{0}_{-1}e$ تسمى دقائق β^- حيث نحصل على نواة متولدة $^{A}_{Z+1}Y$ والتي تقترب من مجال الاستقرار .



- **النواة الأصل $^{A}_{Z}X$ توجد تحت منطقة الاستقرار .**

تتوفر نواة الأصل على أكبر عدد من البرتونات مقارنة مع النوترونات أي أن هناك استحالة نووية تلقائية حيث تتحول البرتونات إلى نوترونات مع انبعاث بوزترونات $^{0}_{+1}e$ تسمى دقائق β^+ حيث نحصل على نواة متولدة $^{A}_{Z-1}Y$ والتي تقترب إلى منطقة الاستقرار .

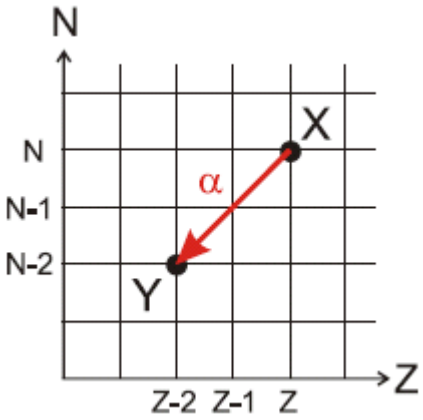
- **حالة النوى الثقيلة (N , Z) كبيران جدا**

A>170 لكي تقترب من منطقة الاستقرار تتفتت باعثة نوى الهيليوم $^{4}_{2}He$ تسمى بالدقائق α . ونحصل على نواة متولدة $^{A-4}_{Z-2}Y$.

في غالب الأحيان يصاحب هذا التحولات انبعاث إشعاعات مهرمغناطيسية γ وهذا يلاحظ عندما تكون النواة الأصلية في حالة مثارة حيث تتوفر على وفرة من الطاقة .

Moutamadris.ma

III ـ قوانين الانحفاظ والمعادلات النووية للأنشطة الإشعاعية α,β;γ .



يمكن نمذجة الأنشطة الإشعاعية بمعادلات نووية تخضع لقانون صودي .

نص القانون : خلال تحول نووي تنحفظ الشحنة الكهربائية Z وكذلك العدد الإجمالي للنويات A .

1 ـ معادلة النشاط الإشعاعي α

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

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

يلاحظ أنه خلال هذا التحول يتحقق قانون صودي .

2 ـ معادلة النشاط الإشعاعي β^-

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

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

3 ـ معادلة النشاط β^+ .

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

$$^{19}_{10}Ne \rightarrow {}^{19}_{9}F + {}^{0}_{+1}e$$

4 ـ معادلة النشاط الإشعاعي γ

الإشعاع γ , α و β^- و β^+ ،

حيث تكون النواة المتولدة في حالة إثارة ولفقدان إثارتها تفقد الطاقة وذلك ببعث إشعاعاتγ

معادلة الإشعاع γ تكتب على الشكل التالي :

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

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

$$^{16}_{8}O^{*} \rightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma$$

$^{16}_{8}O^{*}$ نواة متولدة في حالة مثارة

$^{16}_{8}O$ نواة متولدة في حالتها الأساسية .

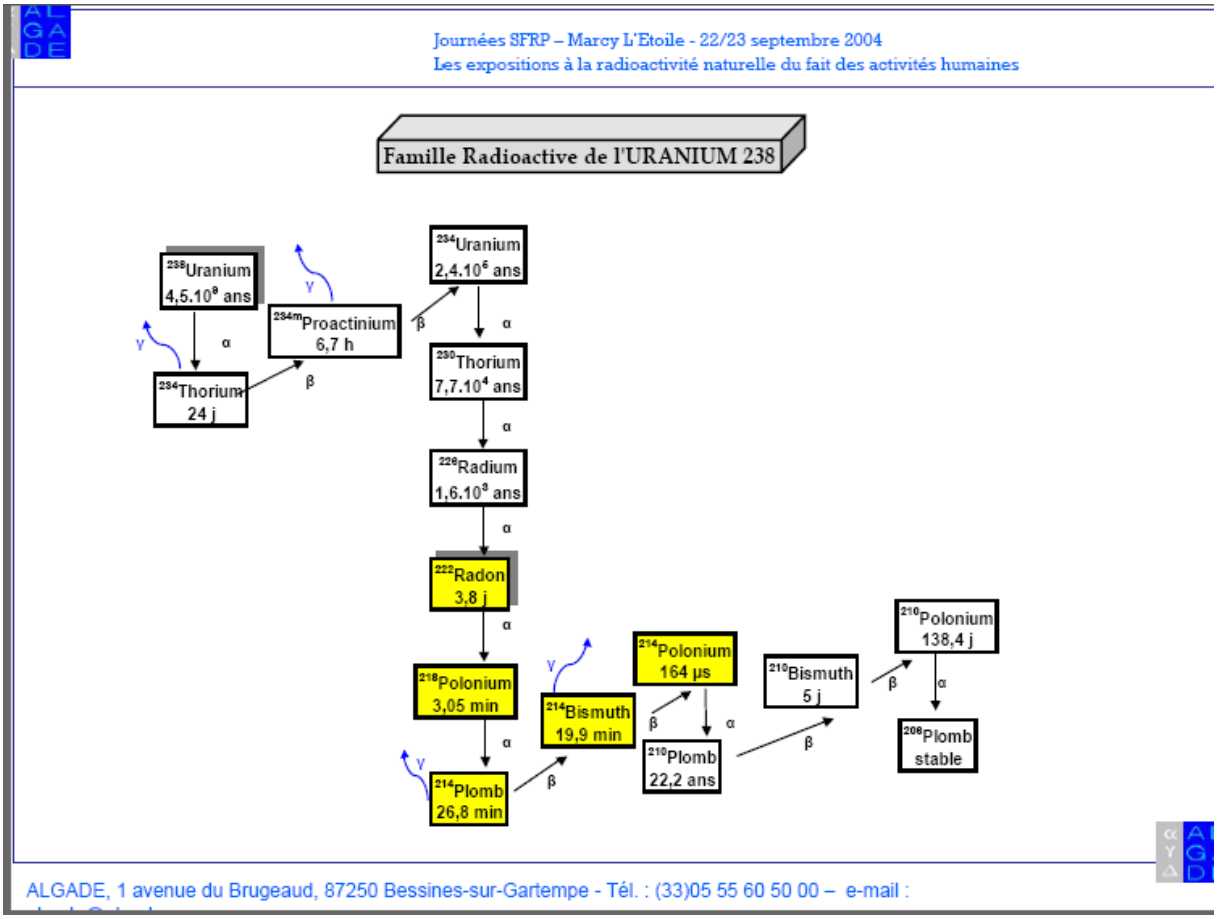
5 ـ الفصيلة المشعة .

تتحول نواة أصلية غير مستقرة إلى نواة أخرى , إذا كانت هذه الأخيرة غير مستقرة ، فإنها بدورها تتحول إلى نواة أخرى ، وهكذا إلى أن نحصل على نواة مستقرة وغير مشعة . نسمي مجموع النوى الناتجة عن نفس النواة الأصلية فصيلة مشعة / famille radioactive

توجد أربع فصائل مشعة طبيعية تنحدر من النوى التالية :

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

مثال فصيلة الأورانيوم 238 :



VI ـ التناقص الإشعاعي

1 ـ الصبغة العشوائية للنشاط الإشعاعي

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

النشاط التجريبي 3

تفتت نواة ظاهرة عشوائية غير مرتقبة في الزمن ، ذلك أنه لا يمكن التنبؤ بحدوث نشاط إشعاعي لنواة في لحظة معينة . غير أنه يمكن معرفة احتمال وقوعه خلال مدة زمنية معينة Δt .

نفس الشيء

مثلا ، بل يمكن فقط معرفة احتمال ظهور الوجه (6) وهو $p = \frac{1}{6}$.

يمكن مماثلة نواة مشعة بنرد ، والحصول على منحنى يوافق قانون التناقص الإشعاعي وذلك بتحديد عدد الرميات التي يظهر فيها الوجه (6)

يمكن لهذا الغرض استعمال برنم محاكات رمي الرند

ننبث عدد النردات N_0=100 . نقوم بالرمية الأولى فيسجل لنا عدد النردات التي يظهر فيها الوجه (6) فهذا العدد يمثل عدد النوى المفتتة خلال الثانية الأولى نزيل هذا العدد من N_0 فنحصل على العدد N_1 عدد النوى المتبقية بدون تفتت . نقوم بالرمية الثانية فيسجل لنا عدد النردات التي يظهر فيها الوجه (6) . يمثل هذا العدد النوى المفتتة خلال الثانية الموالية . نزيل العدد N_2 من بين العدد N_1 الخ

نعيد نفس العملية بواسطة برنم المحاكة . ندون النتائج في الجدول التالي :

Moutamadris.ma

t(s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
عدد النردات التي ظهر فيها الوجه (6)																					
عدد النردات المتبقية	100	85	73	61	54	42	38	35	27	24	21	19	14	14	11	10	8	6	5	4	4

استثمار النتائج

1 ـ مثل المنحنى N(t) عدد النردات المتبقية بدلالة الزمن .

2 ـ حدد المدة الزمنية $t_{1/2}$ التي تقلص خلالها عدد النردات المتبقية إلى النصف . نسمي $t_{1/2}$ عمر النصف .

3 ـ أدخل نتائج التجربة في برنم يعالج المعطيات (ريغريسي)

4 ـ أحسب النسبة $\frac{t_{1/2}}{\tau}$ وقارنها مع ln2 . ماذا تستنتج ؟

2 ـ قانون التناقص الإشعاعي

ـ نعتبر عينة تحتوي على N_0 من نوى المشعة في اللحظة t=0 . ونعتبر N(t) عدد النوى المتبقية في اللحظة t أي التي لم تتفتت بعد .

$N(t)+dN(t)$ عدد النوى المتبقية في اللحظة $t+dt$ بما N(t) تتناقص إذن dN(t)<0 . أي أن عدد النوى المتفتتة بين اللحظتين t و t+dt هو $N(t)-\left(N(t)+dN(t)\right)=-dN(t)$

تبين الدراسة الإحصائية لعينة أن عدد النوى المتفتتة dN(t) - يتناسب مع N(t) عدد النوى المتبقية في العينة و dt المدة الزمنية

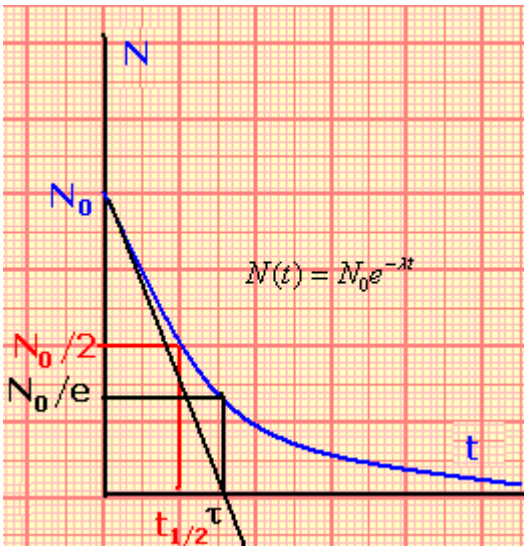
ويعبر عن هذا رياضيا بالعلاقة :

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

وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى حلها يكتب على الشكل التالي :

$N(t)=Ke^{-\lambda t}$ تحدد الثابتة K حسب الشروط البدئية :

$N(t=0)=N_0=K$



الجداء λt لا بعد له أي أن $\left([\lambda]=\frac{1}{[t]}=s^{-1}\right)$ وبالتالي فإن وحدة λ هي s^{-1}

يخضع عدد النوى N(t) المتبقية في عينة مشعة لقانون التناقص الإشعاعي التالي : $N(t)=N_0e^{-\lambda t}$ ، حيث :

λ تسمى ثابتة النشاط الإشعاعي أو ثابتة التفتت . وهي تميز طبيعة النويدة المشعة و N_0 عدد النوى في اللحظة t=0 .

3 ـ ثابتة الزمن ـ عمر النصف

أ ـ ثابتة الزمن τ

تمكن ثابتة النشاط الإشعاعي λ من تعرف زمن مميز لنويدة مشعة معينة ، يسمى ثابتة الزمن رمزها τ وتعرف بالعلاقة : $\tau=\frac{1}{\lambda}$

τ تميز طبيعة النويدة المشعة . وحدة τ هي s (الثانية)

يصبح قانون التناقص الإشعاعي كالتالي :

Moutamadris.ma

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

عند اللحظة t=τ نأخذ N(t) القيمة :

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

وهو ما يمثل نقصانا في عدد النوى البدئية N_0 بنسبة 63% .

وتجدر الإشارة إلى أن المماس للمنحنى الأسي عند اللحظة t=0 يقع محور الأفاصيل عند التاريخ t=τ .

ب ـ عمر النصف $t_{1/2}$ لنويدة مشعة .

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

عند $t=t_{1/2}$ لدينا $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$ أي أن

$$N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \Rightarrow e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

$$Ln\left(e^{-\lambda t_{1/2}}\right) = -Ln2 \Rightarrow \lambda t_{1/2} = Ln2$$

$$t_{1/2} = \frac{Ln2}{\lambda} = \tau Ln2$$

مثال : نويدة الأورانيوم 238 عمرها النصف هو $t_{1/2}=4,5.10^9$ ans

نويدة الكربون 14 عمرها النصف هو 5600ans

نويدة سيزيوم 137 عمرها النصف 30ans

ويدة بولونيوم 212 عمرها النصف 3.10^{-7}s

4 ـ نشاط عينة مشعة activité radioactive

أ ـ تعريف

نشاط عينة a(t) تحتوي على عدد N(t) من النوى المشعة هو عدد النوى المفتتة في وحدة الزمن . تعبيره :

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

وحدة a(t) هي بيكريل (Bq)

1Bq يمثل تفتتا واحدا في الثانية .

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

بتعويض N(t) في العلاقة $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ نجد :

$a(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$ بحيث ان $a_0 = \lambda N_0$

يقاس النشاط الإشعاعي بواسطة عدادات . مثلا عداد جيجر Geigre

ب ـ أمثلة لنشاط مصادر مشعة

رجل كتلته 70kg نشاطه 7000Bq

لتر من ماء معدني نشاطه 10Bq

1kg من السمك نشاطه 100Bq

1kg من البلوتونيوم نشاطه الإشعاعي 2.10^{12}Bq

مصدر طبي مشع نشاطه الإشعاعي 10^{14}Bq .

V ـ التأريخ بالنشاط الإشعاعي

يستعمل الجيولوجيون وعلماء الآثار تقنيات مختلفة لتحديد أعمار الحفريات والصخور التي تعتمد على النشاط الإشعاعي .

تحتوي الصخور والحفريات على نويدات مشعة حيث يتناقص عددها مع مرور الزمن

نشاط عينة أخرى مرجعية يمكن تأريخها .

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

1 ـ التأريخ بالكربون 14

Moutamadris.ma

نعلم أن عنصر الكربون يتوفر أساسا على نظيرين ، الكربون 12 وهو مستقر والكربون 14 وهو إشعاعي النشاط b^- موجود بكميات ضئيلة بسبب ضعف وفارته الطبيعية (0,0001%) حيث يوجد بهذه الوفارة في كل تركيب كيميائي يحتوي على الكربون . مثلا ثائي أوكسيد الكربون يحتوي على هذه النسبة .
وجود هذا النظير هو نتيجة تفاعل نوى الأزوت مع نوترونات الأشعة الكونية وفق المعادلة التالية

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

كيف يتم التأريخ بالكربون 14 ؟
نفترض أنه خلال 40000سنة نسبة الكربون 14 في الفضاء ثابتة مع مرور الزمن .
نعلم كذلك أن جميع الكائنات الحية تتبادل الكربون مع الجو من خلال التنفس التركيب الضوئي و التغذية ، أي أن هذه النسبة الثابتة توجد في كل الكائنات الحية . وعند موتها تتناقص هذه النسبة بسبب تفتت نوى الكربون 14 وفق المعادلة التالية : $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$

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

علما أن $t_{1/2}$=5600ans نحسب $\lambda = \frac{Ln2}{t_{1/2}}$

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

$$Ln\frac{a(t)}{a_0} = -\lambda t \Rightarrow t = -\frac{1}{\lambda} Ln\frac{a(t)}{a_0}$$

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

يقاس نشاط a(t) لكتلة معروفة من عينة (1g مثلا)
يقاس النشاط a_0 لنفس الكتلة من عينة شاهدة حالية .
ملحوظة : تستعمل هذه الطريقة ، التأريخ بالكربون 14 ، فقط بالنسبة لعينات عمرها أقل من 40000 سنة . وهذا راجع لكون العينات الأطول عمرا تحتوي على كمية ضئيلة من الكربون 14 ولا يمكن قياس نشاطها .

2 ـ التأريخ بطرق أخرى

توجد طرق أخرى للتاريخ تستعمل فيها نويدات مشعة عمر نصفها كبير جدا . وتمكن من تأريخ عينات أكثر قدما .
مثلا ، لتأريخ عينات قديمة جدا كالصخور ، يستعمل الأورانيوم 238 . لأن عمر نصفه كبير جدا واستعمال هذا النظير قد مكن من تقدير عمر الكرة الأرضية وهو حوالي 4,55 مليار سنة وعمر نصف هذا النظير $t_{1/2}=4,468.10^9$ans .

تمرين تطبيقي : أعطى قياس النشاط الإشعاعي لعينة من الفحم كتلتها غرام واحد ، أخذت من موقد نار يرجع إلى ما قبل التاريخ ، القيمة $a(t)=4,0.10^{-2}$Bq .
أحسب عمر الموقد ما قبل التاريخ ، علما أن نشاط غرام من الفحم الموجود في الوقت الحاضر a_0=0,23Bq
عمر النصف للكربون 14 هو $t_{1/2}$=5600ans

الجواب :

عمر الموقد هو :
وبتطبيق قانون التناقص الإشعاعي : $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$

علما أن $t_{1/2}$=5600ans لدينا $\lambda = \frac{Ln2}{t_{1/2}}$

Moutamadris.ma

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

$$Ln\frac{a(t)}{a_0} = -\lambda t \Rightarrow t = -\frac{1}{\lambda} Ln\frac{a(t)}{a_0}$$

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

تطبيق عددي :

$$t = -\frac{5600}{Ln2}.Ln\left(\frac{4.10^{-2}}{0,23}\right) = 14132\,Bq$$

Moutamadris.ma

النوى ، الكتلة والطاقة
Noyau ,masse et énergie

I ـ التكافؤ "كتلة ـ طاقة"

1 ـ علاقة إنشتاين

توصل العالم إنشتاين من خلال الميكانيك النسبوية الخاصة سنة 1905م إلى أن هناك تكافؤ بين الكتلة والطاقة .

تمتلك كل مجموعة كتلتها m ، في حالة سكون ، طاقة E تسمى طاقة الكتلة تعبيرها هو :

$$E = m.c^2$$

$c \simeq 3.10^8 m/s$ سرعة الضوء

m كتلة المجموعة نعبر عنها ب kg

E طاقة المجموعة نعبر عنها بالجول .

عندما تتغير كتلة المجموعة ب Δm خلال تحول ما ، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو :

$$\Delta E = \Delta m.c^2$$

$\Delta m<0$ (تنقص كتلة مجموعة في سكون) ، طاقتها الكتلية تنقص كذلك $\Delta E<0$: **تحرر المجموعة في هذه الحالة طاقة تمنحها للوسط الخارجي . (Q>0)**

$\Delta m>0$ (تزداد كتلة مجموعة في سكون) ، طاقتها الكتلية تزداد كذلك $\Delta E>0$: **تكتسب المجموعة في هذه الحالة طاقة من الوسط الخارجي . (Q<0)**

2 ـ وحدة الكتلة والطاقة

أ ـ وحدة الكتلة الذرية

في الفيزياء النووية ، تكون كتل النوى والدقائق صغيرة جدا ، لذا يعبر عنها بوحدة ملائمة تسمى وحدة الكتلة الذرية ونرمز لها بـu

1u يساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12

نعلم أن كتلة مول واحد من ذرات الكربون 12 تساوي 12.10^{-3}kg ويحتوي 1 مول على $N=6,02.10^{23}$ ذرة أي أن :

$1u = \frac{1}{12}\frac{12.10^{-3}}{6.03.10^{23}} = 1,66.10^{-27} kg$ **وبالتالي 1u=1,66.10^{-27}kg**

مثال : كتلة البروتون

$$m_p = 1,6725.10^{-27}\,kg$$

$$m_p = \frac{1,6725.10^{-27}}{1,66.10^{-27}} = 1,0073u$$

ب ـ وحدة الطاقة : الإلكترون ـ فولط

في الفيزياء النووية الجول وحدة غير ملائمة للطاقة ، لذلك يفضل استعمال الإلكترون ـ فولط ومضاعفاته كالميغا إلكترون ـ فولط (MeV) .

$$1eV = 1,602177 \times 10^{-19} J$$

$$1MeV = 10^6 eV = 1,602177 \times 10^{--13} J$$

ج ـ الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u .

حسب علاقة انشتاين الطاقة التي تكافئ 1u هي :

Moutamadris.ma

$$E = 1,66054\times\left(299792458\right)^2 = 1492,42\times10^{-13}\,J$$

$$E = \frac{1492,42\times10^{-13}}{1,602177\times10^{-13}} = 931MeV$$

$$1u = 931,5MeV/c^2$$

مثال : حساب طاقة الإلكترون : $E=mc^2$ بحيث أن $m_e=9,1.10^{-31}kg$

$E=9,1.10^{-31}.9.10^{16}J=81,9.10^{-15}J$ وبما أن $1eV=1,6.10^{-19}J$ فإن $E=0,512Mev$

نستنتج أن كتلة الإلكترون بوحدة الطاقة الكتلية : $m_e=0,512Mev/c^2$.

II ـ طاقة الربط Energie de liaison

2 ـ 1 النقص الكتلي .

تبين قياسات دقيقة أنجزت بواسطة معيار الكتلة أن كتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع كتل الدقائق التي تكونها .

مثال : كتلة نواة الدوتريوم ^2_1H : $m\left(^2_1H\right)=2,0109u$

الدقائق المكونة لنواة الدوتريوم $Z=1$ و $N=1$

مجموع كتل الدقائق : $m_p+m_n=2,0199u$

وبالتالي

$$\Delta m = \left(m_p+m_n\right)-m\left(^2_1H\right)$$
$$= 0,0050u$$

نسمي Δm بالنقص الكتلي للنواة .

بصفة عامة : **نسمي النقص الكتلي لنواة Δm الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة وهو مقدار دائما موجب .**

$$\Delta m = \left(Zm_p+Nm_n\right)-m\left(^A_ZX\right)$$

2 ـ 2 طاقة الربط

النواة مكونة من بروتونات ذات شحنة موجبة و n نوترونات ذات شحنة منعدمة . يفسر تماسك النواة بوجود قوى نووية ذات شدة كبيرة تسمى بقوى التأثيرات البينية القوية .

لفصل نويات النواة يجب إعطاؤها طاقة ، تسمى بطاقة الربط E_ℓ .

وحسب علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة لأنشتاين فإن النقص الكتلي لنواة يكافئ الطاقة اللازمة إعطاؤها لفصل نوياتها :

$$Zm_p+(A-Z)m_n = m(^A_ZX)+E_\ell$$

$$E_\ell = \Delta m.c^2 = \left(Zm_p+(A-Z)m_n-m(^A_ZX)\right).c^2$$

2 ـ 3 طاقة الربط بالنسبة لنوية

$$\mathcal{E} = \frac{E\ell}{A}$$

وحدة $\mathcal{E}$ هي Mev/nucléon

وهي تمثل طاقة الربط المتوسطة لنوية .

- للحكم على مدى استقرار نويدة يجب اعتبار طاقة الربط بالنسبة للنوية .
- تكون نويدة أكثر استقرارا كلما كانت طاقة الربط بالنسبة للنوية كبيرة .

تمرين تطبيقي :

نعتبر نويدة الراديوم $^{226}_{88}Ra$

أحسب طاقة الربط لنويدة الراديوم واستنتج طاقة الربط بالنسبة لكل نوية .

نعطي : $m(Ra)=225,977u$ و $m_p=1,00728u$ و $m_n=1,00867u$ و $1u=1,66.10^{-27}kg$

$c=3.10^8m/c^2$

Moutamadris.ma

الجواب : طاقة الربط اللازمة هي الطاقة اللازمة لفصل نويات موجودة في حالة سكون .

$$E_\ell = \Delta m.c^2 = \left[(Zm_p + Nm_n) - m\left({}^{A}_{Z}X\right)\right]c^2$$

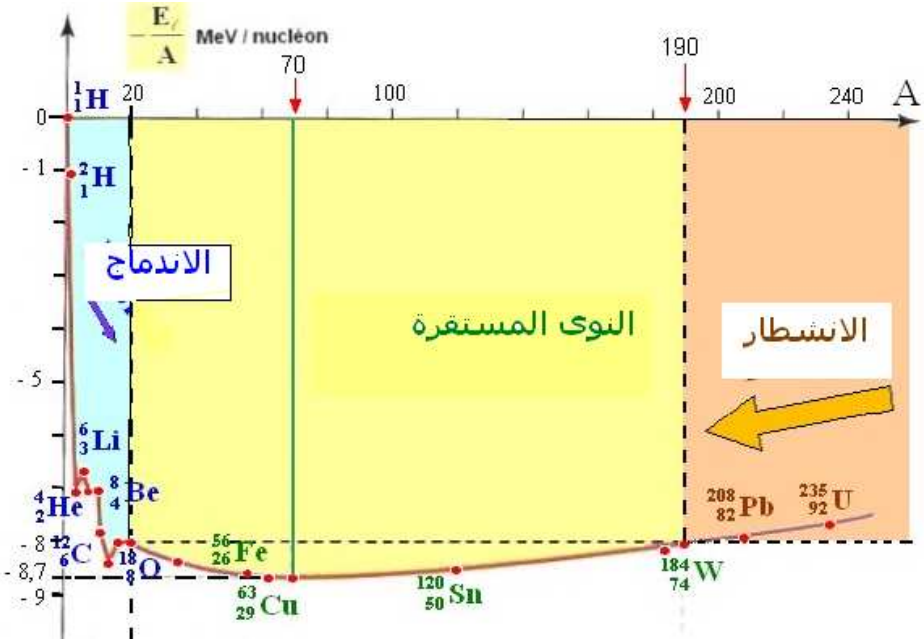
Z=88 و N=226 ومنه فإن

$$E_\ell = (88.1,00728 + 138.1,00867 - 225,977).9.10^{16} = 2,779.10^{-10}\,J = 1736,90MeV$$

طاقة الربط بالنسبة لكل نوية $\mathcal{E} = \frac{E\ell}{A}$ وبالتالي $\mathcal{E} = \frac{1736,90}{226} = 7,68MeV/c^2$

2 ـ 4 منحنى أسطون Aston

يمكن مقارنة استقرار مختلف النويدات باستعمال منحنى أسطون ، حيث يمثل تغيرات مقابل طاقة الربط



بالنسبة لنويدة $\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$ بدلالة عدد النويات A . أنظر الشكل .

من خلال المنحنى نلاحظ :

- 20<A<195 : $\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$ لها قيم دنيا تقارب $8MeV/c^2$ قيمتها المطلقة . هذه المنطقة تظم النوى الأكثر استقرارا (مثال الحديد Fe هو النوى الأكثر استقرارا لذا يوجد بوفرة في الطبيعة .
- A<20 و A>195 $\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$ كبيرة أي أن $\left(\frac{E_\ell}{A}\right)$ صغيرة جدا وبالتالي فطاقة الربط بالنسبة لنوية ضعيفة الشيء الذي يبين أن هذه النوى غير مستقرة يمكنها أن تتحول إلى نوى أكثر استقرارا .

يمكن لهذه أن تتحول وفق نوعين من التفاعلات النووية :

-- A>19 ـ النوى الثقيلة غير المستقرة تنشطر إلى نواتين خفيفتين . وتسمى هذه **الظاهرة الانشطار النووي .**

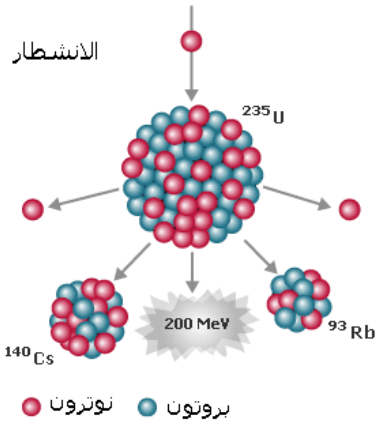
ـ A<20 ـ النوى الخفيفة تتحد فيما بينها لتعطي نواة أكثر ثقلا وتسمى هذه **الظاهرة الاندماج النووي** .

ملحوظة . الاندماج والانشطار تفاعلان محرّضان .

III ـ الانشطار والاندماج النوويان Fusion et fission nucléaire

1 ـ الانشطار النووي :

يمكن لنواة ثقيلة كالأورانيوم أو البلوتونيوم مثلا أن تنقسم ، بعد قدفها بنترون بطيء (طاقته الحركية أقل من 0,1MeV)إلى نواتين خفيفتين . يسمى هذا التحول الانشطار النووي ، وتسمى النوى الثقيلة النوى **الشطورة fissile** والنترون القديفة **: النوترون الحراري .**



أ ـ تعريف

الانشطار النووي تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة شطورة ، بعد التقافها لنترون حراري إلى نواتين خفيفتين .

أمثلة :

Moutamadris.ma

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{55}Cs + ^{93}_{37}Rb + 3\,^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{139}_{54}Xe + 3\,^{1}_{0}n + \gamma$$

ب ـ تفاعل متسلسل

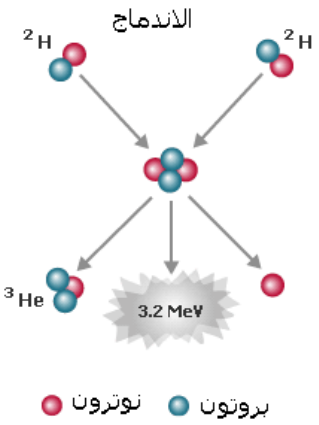
يمكن لنوترونات الناتجة عن الانشطار النووي أن :

ـ تفلت من وسط التفاعل .

ـ أو تلتقفها نوى غير شطورة .

أو تتسبب في انشطار نوى أخرى ، مساهمة في حدوث تفاعل متسلسل قد يتم بكيفية تفجيرية ، إذا كان غير متحكم فيه ، وهذا ما يحدث في القنبلة النووية . ويمكن التحكم فيه وضبطه وهذا ما يحدث في المفاعلات النووية حيث ينتج الطاقة بكيفية منتظمة .

ويتحكم في التفاعل التسلسل في المفاعلات النووية عن طريف امتصاص النوترونات بواسطة قضبان من الكاديوم .



2 ـ الاندماج النووي .

أ ـ تعريف

الاندماج النووي تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا .

أمثلة : تقع تفاعلات الاندماج داخل الشمس حيث يتم خلالها تكون الهيليوم انطلاقا من الهيدروجين ، وفق ثلاث مراحل :

$$^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{2}_{1}H + ^{0}_{1}e$$

$$^{2}_{1}H + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He$$

$$^{3}_{2}He + ^{3}_{2}He \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H$$

ب ـ شروط تحقيق الاندماج النووي

لا يتحقق الاندماج النووي إلا إذا كان للنواتين الخفيفتين طاقة تمكنها من التغلب على قوى التأثيرات البينية التنافرية . ويتطلب توفير هذه الطاقة درجة حرارة عالية . ولهذا السبب ينعت الاندماج **بالتفاعل النووي الحراري .**

VI ـ الحصيلة الكتلية والطاقية لتفاعل نووي .

1 ـ الحالة العامة :

نعتبر تفاعلا نوويا معبرا عنه بالمعادلة التالية :

$$^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$$

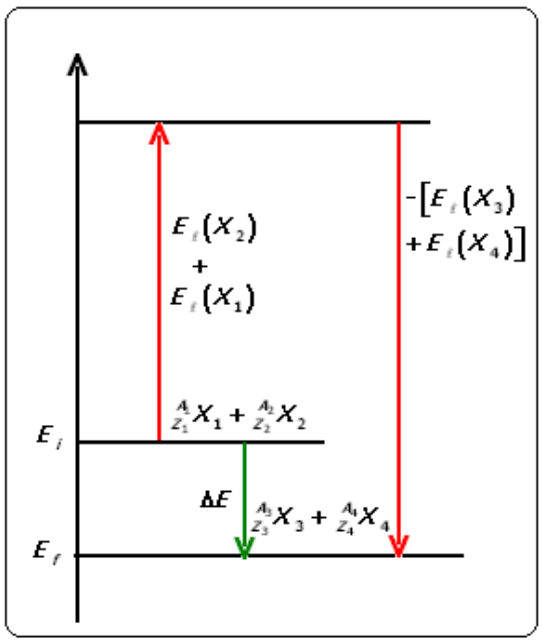
X_i تدل على نوى عناصر كيميائية أو دقائق .

الحصيلة الطاقية المقرونة بهذا لتفاعل هي :

$$\left[E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)\right] = \left[E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)\right] + \Delta E$$

$$\Delta E = \left[E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)\right] - \left[E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)\right]$$

حيث $E_\ell(X_i)$ طاقة الربط للنواة أو الدقيقة X_i . و ΔE طاقة التفاعل .



حسب تعبير طاقة الربط E_ℓ لدينا :

$$\Delta E = \left[m(X_3) + m(X_4)\right].c^2 - \left[m(X_1) + m(X_2)\right].c^2$$

$$\Delta E = \left[m(X_3) + m(X_4) - m(X_1) - m(X_2)\right].c^2$$

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = \left[m(produit) - m(reactifs)\right].c^2$$

<u>ملحوظة : مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :</u>

E_i : الطاقة البدئية للمجموعة

E_f : الطاقة النهائية للمجموعة .

Moutamadris.ma

$E_\ell(X_1)+E_\ell(X_2)$ الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين .

$-\left[E_\ell(X_3)+E_\ell(X_4)\right]$ الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكون النواتين X_3 و X_4 .

ΔE الطاقة الكلية لهذا التفاعل النووي وبذلك تصبح أكثر استقرارا .

ملحوظة : الطاقة المحررة خلال تفاعل ناشر للطاقة هي $Q=-\Delta E>0$

2 ـ تطبيقات على الانشطار ولاندماج النوويين

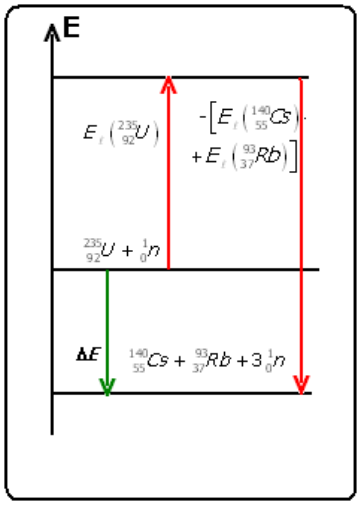
أ ـ الانشطار النووي :

نعتبر معادلة الانشطار النووي التالية :

$$^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{140}_{55}Cs+{}^{93}_{37}Rb+3\,{}^{1}_{0}n$$

نعطي كتل النوى المتدخلة في هذا التفاعل النووي .

$^{235}_{92}U$	$^{140}_{55}Cs$	$^{93}_{37}Rb$	$^{1}_{0}n$
234,99346 u	139,88711 u	92,90174 u	1,00866 u



أحسب الطاقة المحررة من طرف نواة واحدة من الأورانيوم .

لدينا حسب تعبير تغير الطاقة : $\Delta E=\Delta m.c^2$

بحيث أن

$$\Delta m=m_f-m_i$$

$$=\left[m\left(^{140}_{55}Cs\right)+m\left(^{93}_{37}Rb\right)+3m\left(^{1}_{0}n\right)\right]-\left[m\left(^{235}_{92}U\right)+m\left(^{1}_{0}n\right)\right]$$

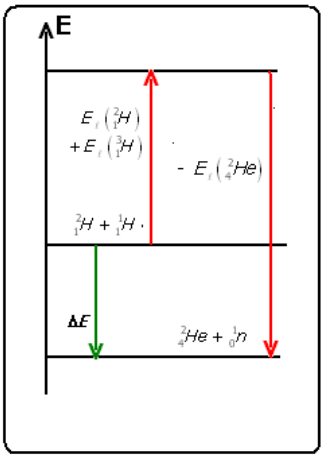
$$=\left[m\left(^{140}_{55}Cs\right)+m\left(^{93}_{37}Rb\right)+2m\left(^{1}_{0}n\right)-m\left(^{235}_{92}U\right)\right]$$

$$=-0,18729u=-3,1100\times10^{-28}kg$$

$$\Delta E=\Delta m.c^2=-2,7995\times10^{-11}J=-174,699MeV$$

أي أن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم تحرر طاقة $Q=-\Delta E$ تساوي 174,699MeV .

مخطط الطاقة لتفاعل الانشطار : أنظر الشكل



ب ـ الاندماج النووي

نعتبر تفاعل الاندماج التالي :

$$^{2}_{1}H+{}^{3}_{1}H\rightarrow{}^{2}_{4}He+{}^{1}_{0}n$$

$$\Delta E=\Delta m.c^2$$

$$\Delta m=m_f-m_i=\left[m\left(^{2}_{4}He\right)+m\left(^{1}_{0}n\right)\right]-\left[m\left(^{2}_{1}H\right)+m\left(^{3}_{1}H\right)\right]$$

$$=-0,18729u=-3,1100\times10^{-28}kg$$

$$\Delta E=\Delta m.c^2\simeq-17,585MeV$$

$^{2}_{1}H$	$^{3}_{1}H$	$^{2}_{4}He$	$^{1}_{0}n$
2,01355	3,01550	4,00150	1,00866

تفاعل الاندماج يحرر طاقة تقارب 18MeV ، بينما تفاعل الانشطار يحرر طاقة تقارب 200MeV تقريبا .

فالبنسبة لعدد النويات بالنسبة للاندماج النووي 5 نويات وبالنسبة للانشطار النووي 236 نوية أي أنه بالنسبة لنوية واحدة الطاقة المحررة بالاندماج أكبر بخمس مرات

سلسلة التمارين 2)

3 ـ تطبيقات على التحولات النووية التلقائية .

ملحوظة مهمة :

Moutamadris.ma

$\Delta E < 0$ تكون المجموعة ناشرة للطاقة أي أنها تحرر الطاقة يكتسبها المحيط الخارجي ($Q=-\Delta E>0$).

$\Delta E > 0$ تكون المجموعة ماصة للطاقة (تكتسب طاقة من المحيط الخارجي ($Q=\Delta E <0$)

بالنسبة للتفاعلات النووية التلقائية تكون دائما $\Delta E < 0$ ونرمز لها بالحرف E وتظهر هذه الطاقة على شكل طاقة طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقائق المنبعثة خلال التفتت .

ا ـ النشاط الاشعاعي α

معادلة التفتت α هي :

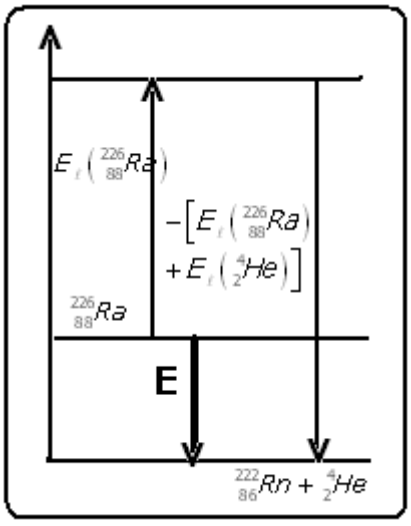
$$^{Z}_{A}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + \alpha$$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α :

$$E = \left[m(\alpha) + m\left({}^{A-4}_{Z-2}Y\right) - m\left({}^{Z}_{A}X\right)\right].c^2$$

تطبيق : أحسب الطاقة الناتجة عن تفتت نواة واحدة من الراديوم 226 . نواة الراديوم إشعاعية النشاط α نعطي :

$^{226}_{88}Ra$	$^{222}_{86}Rn$	$^{4}_{2}He$
225,977u	221,9702	4,0015



$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

ننجز الحصيلة الطاقية لهذا التفاعل :

$$E = \left[m\left({}^{222}_{86}Rn\right) + m\left({}^{4}_{2}He\right) - m\left({}^{226}_{88}Ra\right)\right].c^2$$

$$= \left[-5,3.10^{-3}u\right].c^2$$

نعلم أن $1u=931,5MeV/c^2$ وبالتالي فإن :

$$E = -5,3.10^{-3} \times 931,6 \frac{MeV}{c^2}.c^2 = -4,94MeV$$

وبالتالي الطاقة المحررة عن هذا التفاعل هي :

$Q = -E = E_C(\alpha) = 4,94MeV$ وهي تظهر على شكل طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقيقة α .

ب ـ النشاط الإشعاعي β^- .

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^-

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

الحصيلة الطاقية للنشاط الإشعاعي β^- :

$$E = \left[m\left({}^{A}_{Z+1}Y\right) + m\left({}^{0}_{-1}e\right) - m\left({}^{Z}_{A}X\right)\right].c^2$$

ج ـ النشاط الإشعاعي β^+

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^+

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

الحصيلة الطاقية للنشاط الإشعاعي :

$$E = \left[m\left({}^{A}_{Z-1}Y\right) + m\left({}^{0}_{+1}e\right) - m\left({}^{Z}_{A}X\right)\right].c^2$$

ملحوظة :

تتحول الطاقة المحررة خلال التفاعلات النووية إلى طاقة حركية للنوى والدقائق الناتجة عن هذا التحول وكذلك إلى طاقة كهرمغناطيسية للإشعاعات γ .

$$Q = -\Delta E = \sum E_C\left({}^{A}_{Z}Y\right)$$

Moutamadris.ma

$^{A}_{Z}Y$: **النوى والدقائق الناتجة عن التحول**

٧ ـ التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي .

للإشعاعات النووية تأثير على جسم الإنسان وذلك حسب الكمية التي يمتصها الجسم وبطبيعة الأشعة

- الإشعاعات α
الجلد .
- الإشعاعات β أكثر نفاذية من α ، ويلزم عددة مليمترات لإيقافها . تستعمل هذه الإشعاعات لمعالجة الخلايا السرطانية .
- الإشعاعات γ نافدة بقدر كبير ، ولإيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص ، وتستعمل في تشخيص الأمراض بالصور .

تستعمل الإشعاعات النووية في الطب بكميات ضئيلة جدا كعنصر لاستشفاء ولتشخيص الأمراض أو لمعالجتها .

كيف تؤثر الإشعاعات النووية على الإنسان ؟

تتفاعل الإشعاعات النووية ذات الطاقة العالية مع المادة المكونة لجسم الإنسان ، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة بعض التشوهات بيوكميائية .

Moutamadris.ma