

عرض نظري

02

التطورات الرتبة ٤

دراسة تحولات نووية

Tel : 0771 998109

fares_fergani@yahoo.Fr

1- مفاهيم أساسية :

أ- بنية النواة :

- تتكون النواة من دقائق صغيرة جدا تدعى النوكليونات و هي نوعان البروتونات و النيوترونات ، تمتاز بالخواص التالية :

البروتون p :

هو جسيم مادي مشحون ، كتلته $m_p \approx 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ و يحمل شحنة كهربائية عنصرية موجبة قدرها $e = +1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c}$.

النيوترون :

- هو جسيم مادي متعادل كهربائيا (أي شحنته تساوي الصفر) و كتلته $m_n = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

- يعتبر عدد النوكليونات (جمع نكليون) المكونة للنواة عدد مميز لها يدعى العدد الكتلي للذرة و يرمز له بالحرف A ، و عدد البروتونات المحتواة في نواة الذرة هو أيضا عددا مميزا لها يدعى الرقم الذري و يرمز له بالحرف Z ، كما يرمز لعدد النيوترونات بالحرف N .

- بما أن النواة تشمل البروتونات و النيوترونات فيمكن كتابة :

$$A = N + Z$$

- يرمز للنواة برمز يميزها كما يلي :

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$$

ب- نصف قطر نواة :

من أجل نواة مكونة من A نوية يكون نصف قطرها :

$$r = r_0 \sqrt[3]{A}$$

r_0 : هو نصف قطر البروتون .

ج- النظائر :

- النظائر هي أفراد كيميائية تنتمي لنفس العنصر الكيميائي ، تمتاز بنفس الرقم الذري Z و تختلف في العدد الكتلي A .
- تكون مختلف نظائر العنصر نوعه الكيميائي في الطبيعة بحسب نسب توأجدها .
- من بين النظائر ما هو مستقر و ما هو مشع ، و كأمثلة عن النظائر المشعة نذكر : الكربون المشع $^{14}_6\text{C}$ ، الأورانيوم المشع $^{235}_{92}\text{U}$ ، الأكسجين المشع $^{235}_{92}\text{O}$...

د- القوة النووية القوية :

- جميع بروتونات النواة مشحونة موجبا . هذا يؤدي إلى تنافرها دوما لأن الشحنات من نفس النوع تتنافر ، و كون أن النواة متماسكة هذا يعني أن هناك قوة تحافظ على تماسها و إلا حدث الانشطار . الاسم المعطى لهذه القوة هو القوة النووية القوية .

2- النشاط الإشعاعي :**أ- تعريف التفكك الإشعاعي الطبيعي :**

- التفكك الإشعاعي هو ظاهرة عفوية لتفاعل نووي تتحول أثناءه نواة مشعة تدعى النواة الأب إلى نواة أخرى تدعى النواة الابن ، و ذلك بإصدار النواة الأب لجسيمات أو إشعاعات كهرومغناطيسية .
- الجسيمات المنبعثة ثلاث أنواع :

الجسيمات α :

- اكتشفها رذرفورد سنة 1909 و هي عبارة عن أنوية الهيليوم ^4_2He تنبعث بسرعة تصل إلى 20000 كلم/ثا ، يتم إيقافها بسهولة باستعمال حاجز ورقي أو يد إنسان .

الجسيمات β^- :

هي عبارة عن إلكترونات $^0_{-1}\text{e}$.

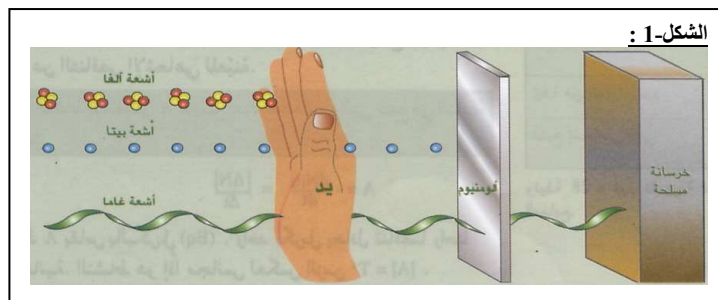
الجسيمات β^+ :

هي عبارة عن إلكترونات موجبة تسمى البوزيتونات $^0_{+1}\text{e}$

- تنبعث الجسيمات β^- ، β^+ من النواة بسرعة تصل إلى 280000 كلم/ثا . كما يمكنها اختراق صفيحة من الألمنيوم سمها 7 مم .

الإشعاع γ :

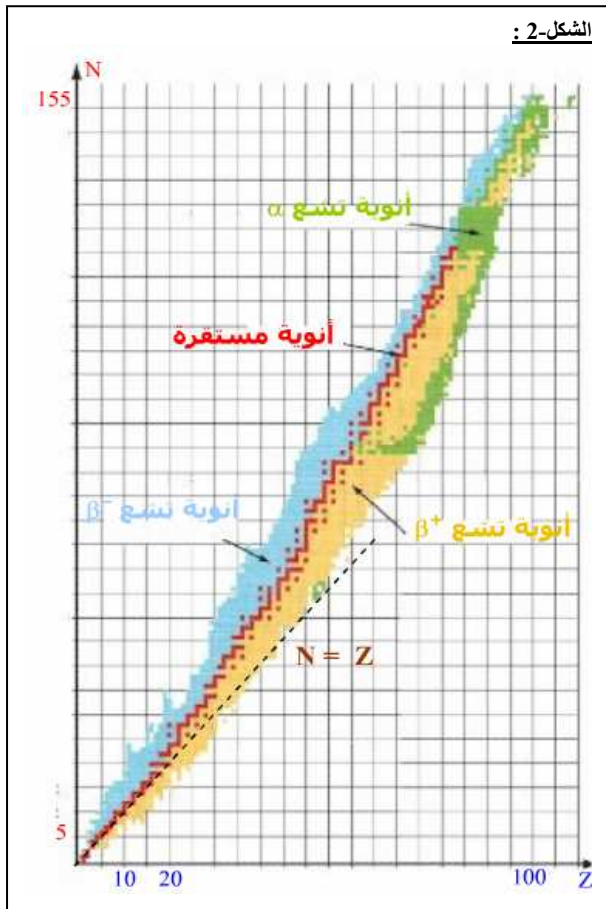
- و هو إشعاع كهرومغناطيسي ذو طاقة عالية ليس له كتلة و لا شحنة ، له القدرة على اختراق الأجسام بسهولة حيث يمكنه اختراق صفيحة من الرصاص سمها 20 سم و حائط سميك من الاسمنت المسلح ، وهي إشعاعات خطيرة .



ب- المخطط (N,Z) :

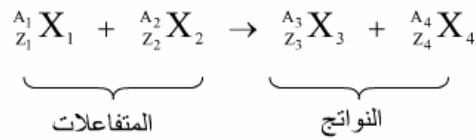
- من المخطط جميع الأنوية المستقرة و غير المستقرة موزعة في الحزمة بألوان مختلفة .
- إن الشق الفاصل بين الأزرق و الأصفر على المخطط يمثل الأنوية المستقرة ، هذا الفصل يدعى وادي الاستقرار .
- إن النقاط الزرقاء ، الصفراء و الخضراء تمثل أنوية غير مستقرة (مشعة) .
- إن الخط $N = Z$ في المجال $[0 \rightarrow Z = 20]$ يمثل الأنوية المستقرة و التي تحتوي على نفس العدد من البروتونات و النيوترونات .
- اللون الأزرق يمثل الأنوية الباعثة للإشعاع (β^-) و اللون الأحمر يمثل الإشعاع (β^+) و اللون الأصفر يمثل الأنوية الباعثة للإشعاع α .
- خارج الحزمة الملونة بالأصفر أو الأخضر أو الأزرق ما يعني بعيدا عن وادي الاستقرار لا توجد في الطبيعة مثل هذه الأنوية .
- عند التفكك الإشعاعي ، تؤول الأنوية إلى الاستقرار و الاقتراب من وادي الاستقرار أي التفكك الإشعاعي يؤدي إلى انسحاب النواة نحو وادي الاستقرار (الشكل-3) .
- الأنوية التي تنتمي إلى واد الاستقرار إلى الأنوية الأكثر استقرارا وكما ابتعدنا على واد الاستقرار كلما كان استقرار الأنوية أقل .
- يمكن للنواة الثقيلة أن تتعرض إلى مراحل من التفكك على وادي

الإستقرار قبل استقرارها مثل تفكك نواة اليورانيوم $^{235}_{92}\text{U}$ إلى نواة الرصاص $^{207}_{82}\text{Pb}$ عبر سلسلة من التفككات المبينة في (الشكل-4) التالي :

الشكل-4 :
الشكل-3 :
ج- أنواع التفكك :

مبدأ التفكك :

- في كل تحول نووي يتحقق مبدئين :
- مبدأ انحفاظ العدد الكتلي A .
- مبدأ انحفاظ العدد الذري Z .



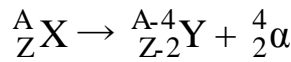
مثال :

بتطبيق مبدأي الإنحفاظ يكون :

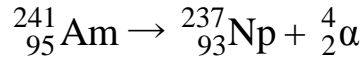
$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= A_3 + A_4 \\ Z_1 + Z_2 &= Z_3 + Z_4 \end{aligned}$$

ملاحظة :يمكن أن يكون X نواة أو جسيما مثل (بروتون ${}_1^1p$ ، نوترون ${}_0^1n$)التفكك α :

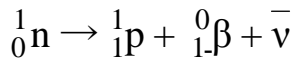
- أثناء التفكك α ينبعث جزء من النواة متمثل في الجسيم α (نواة الهيليوم) والجزء المتبقي هو نواة مختلفة .
- المعادلة العامة للتفكك α تكون من الشكل :



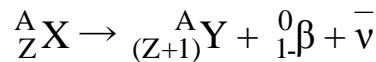
- هذا التفكك خاص بالأنوية الثقيلة جدا .

مثال :التفكك β^- :

- في التفكك β^- يتحول النيوترون إلى بروتون مرفوق بانبعث جسيم β^- و جسيم آخر عديم الكتلة و الشحنة يدعى النيترينو المضاد $\bar{\nu}$ وفق المعادلة النووية التالية :



- النيوترون المضاد لا يملك شحنة و لا كتلة لا يؤثر في المعادلة و عليه يمكن تجاهله أحيانا .
- المعادلة العامة للتفكك β^- تكون من الشكل :



- في النشاط الإشعاعي β^- تقع النواة الابن في التصنيف الدوري في الخانة المتواجدة مباشرة بعد خانة الأب .

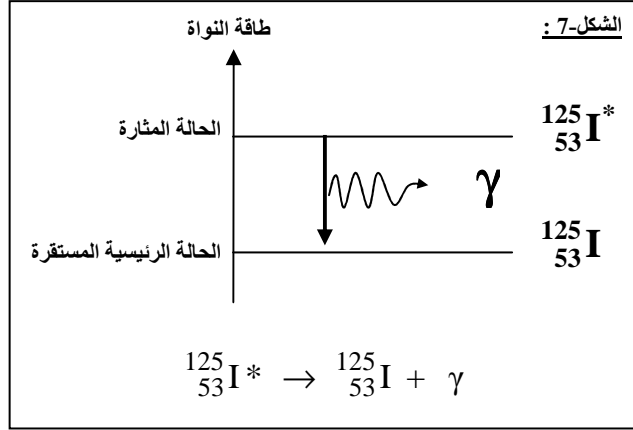
الشكل-5 :

إشعاع β^-			
Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29
8	9	10	11

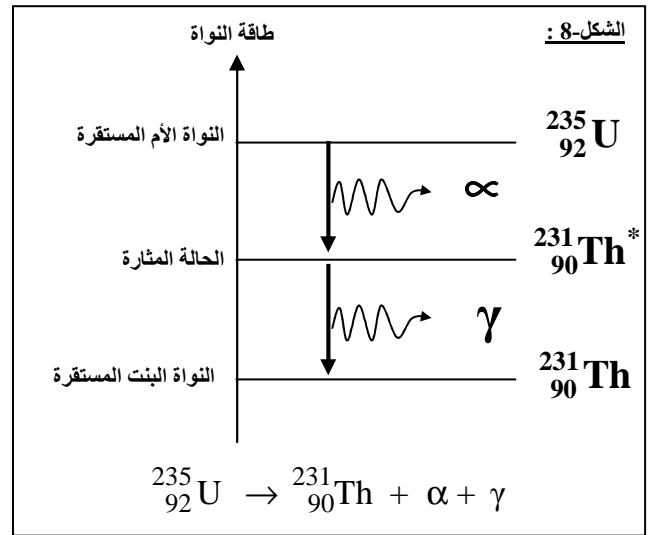
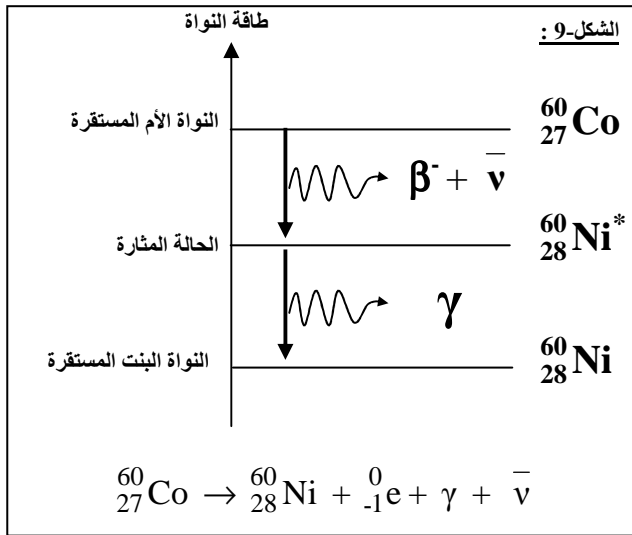
. هي النواة الأب المثارة ${}^A_Z X^*$

. هي النواة الابن المستقرة ${}^A_Z X$

مثال : (إستقرار نواة اليود)



- يحدث التفكك γ عادة أثناء التفكك α أو β ، كما موضح في المثالين التاليين :



3- التناقص الإشعاعي :

أ- قانون التناقص الإشعاعي :

- إن تفكك الأنوية هي ظاهرة عشوائية محضة ، حيث لا يمكن التنبؤ باستمرار تفكك نواة او توقفها عن ذلك ، لذا لا يمكن دراسة الأنوية انفراديا كما تعودنا ذلك في دراسة تطور حركة نقطة مادية .
 إذن دراسة تفكك الأنوية هي دراسة إحصائية ، معنى هذا أنها تعتمد على القيم المتوسطة ، أي ندرس عينة من الأنوية و نعم الدراسة على كل الأنوية مجتمعة رغم ان تفكك هذه الأنوية انفراديا لم يكن متماثلا على الإطلاق .
 - يتناقص عدد الأنوية لعينة مشعة بطريقة أسية حسب قانون يدعى قانون التناقص الإشعاعي الذي يعبر عنه بالعلاقة التالية :

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

N_0 هو عدد الأنوية في اللحظة صفر .
 N هو عدد الأنوية المتبقية في اللحظة t .
 λ هو ثابت يدعى ثابت التفكك الإشعاعي وحدته s^{-1} في جملة الوحدات الدولية ، يتعلق بالنواة و لا يتعلق بالزمن ،
يعبر عنه بالعلاقة :

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

$t_{1/2}$ هو زمن نصف العمر (أو مدة نصف العمر) وحدته $t_{1/2}$ و هو الزمن الذي تتفكك خلالها نصف الأنوية المشعة
أي :

$$t = 0 \rightarrow N = N_0$$

$$t = t_1 = t_{1/2} \rightarrow N = N_1 = \frac{N_0}{2}$$

$$t = t_2 = 2 t_{1/2} \rightarrow N = N_2 = \frac{N_1}{2}$$

$$t = t_3 = 3 t_{1/2} \rightarrow N = N_3 = \frac{N_2}{2} \dots\dots$$

مثال :

$$t = 0 \rightarrow N = 80000$$

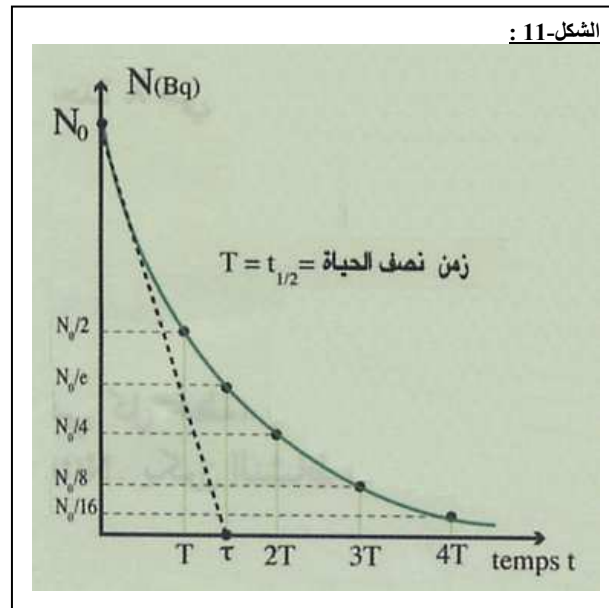
$$t = t_{1/2} \rightarrow N = 40000$$

$$t = 2 t_{1/2} \rightarrow N = 20000$$

$$t = 3 t_{1/2} \rightarrow N = 10000$$

$$t = 4 t_{1/2} \rightarrow N = 5000 \dots\dots\dots$$

و هندسيا يكون :



* تعرف النسبة $\frac{1}{\lambda}$ بثابت الزمن يرمز له بـ τ و نكتب :

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

ملاحظة :

ماقلناه عن عدد الأنوية N من خلال تعريف زمن نصف العمر يمكن قوله عن أي مقدار يتناسب مع عدد الأنوية مثل الكتلة m ، النشاط A (نتعرف عليه فيما بعد) ، حجم غاز ...

مثال :

$$t = 0 \rightarrow m = 8 \mu\text{g}$$

$$t = t_{1/2} \rightarrow N = 4 \mu\text{g}$$

$$t = 2 t_{1/2} \rightarrow N = 2 \mu\text{g}$$

$$t = 3 t_{1/2} \rightarrow N = 1 \mu\text{g}$$

$$t = 4 t_{1/2} \rightarrow N = 0.5 \mu\text{g} \dots\dots\dots$$

ب- النشاط الإشعاعي :

- النشاط الإشعاعي الذي يرمز له بـ A ووحدته في جملة الوحدات الدولية بالبكريل (Bq) لعينة هو عدد التفككات التي تنتج في الثانية الواحدة ، يعبر عنه بالعلاقة :

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

و حيث أن $N = N_0 e^{-\lambda t}$ يمكن كتابة :

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

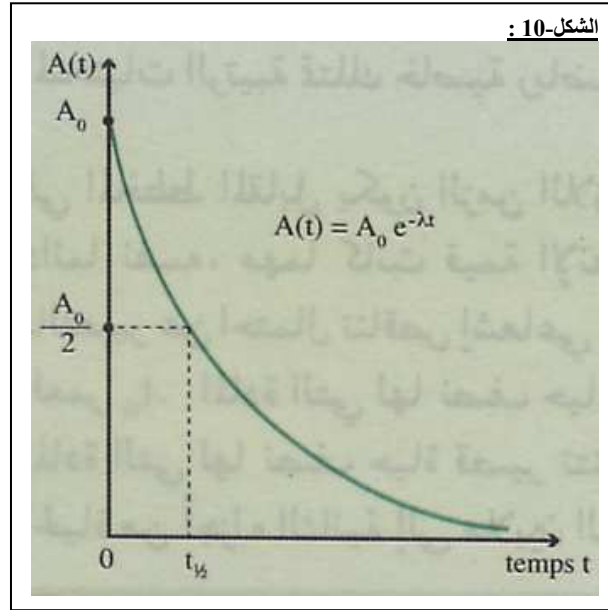
حيث A_0 هو مقدار النشاط عند $t = 0$ حيث يمكن كتابة :

$$A = \lambda N_0$$

• يمكن استنتاج :

$$t = t_{1/2} \rightarrow A = \frac{A_0}{2}$$

و هندسيا يكون :



4- الانشطار النووي و الاندماج النووي :

أ- وحدة الكتلة الذرية u :

إن الكتل الفردية المستخدمة في التفاعلات النووية صغيرة جدا ، لذا يستخدم الفيزيائيون عادة وحدة أخرى لقياس الكتلة تدعى وحدة الكتلة الذرية يرمز لها (u) و يعبر عنها بالعلاقة :

$$1u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

تعرف أيضا وحدة الكتلة الذرية على أنها $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون أي :

$$1u = \frac{1}{12} m_C = \frac{1}{12} \frac{M(C)}{N_A} = \frac{1}{12} \frac{12}{6.02 \cdot 10^{23}} = \frac{1}{6.02 \cdot 10^{23}} \approx 1.67 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

ب- طاقة الكتلة :

- في إطار النظرية النسبية اقترح إنشتاين في بداية القرن العشرين أن كل كتلة تصحبها طاقة كتلة يعبر عنها بعلاقة تكافؤ بين الكتلة و الطاقة ، و عليه تمتلك كتلة m في الكون طاقة كتلة قدرها :

$$E_0 = mc^2$$

- سرعة الضوء في الفراغ ، C = $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ، الكتلة (kg) ، E_0 : طاقة الكتلة (J)

- في السلم الذري توجد وحدات أخرى للطاقة أهمها ، الإلكترون فولط eV و الميغا إلكترون فولط MeV حيث :

$$1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1\text{MeV} = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

ج- النقص الكتلي و طاقة التماسك :

- إن كتلة النواة أقل من كتلة مكوناتها و الفرق بين الكتلتين يدعى **النقص الكتلي** و يرمز له بـ Δm و يعبر عنه بالعلالة :

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m$$

حيث m_p : كتلة البروتون ، m_n : كتلة النيوترون ، m : كتلة النواة .

- لو سلمنا بتأثير قوة التنافر بين بروتونات النواة فإنها تنفجر ، لكن ذلك لا يحدث بالنسبة لأنوية العناصر الكيميائية ، هذا ما يجعلنا نقبل بوجود قوة تماسك كبيرة بين النيوكليونات و التي تمنع تنافر البروتونات ، طاقة التماسك هذه لنواة ${}^A_Z X$ و التي يمز لها بـ E_ℓ تحسب من خلال العلاقة :

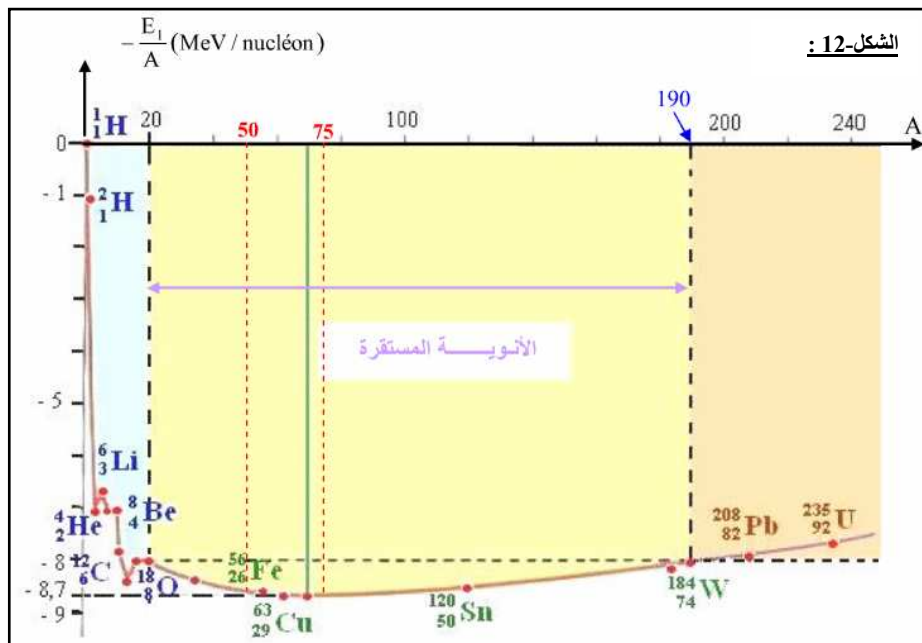
$$E_\ell = \Delta m c^2 = (Z m_p + (A - Z) m_n - m) c^2$$

استقرار الأنوية :

- لا يرتبط استقرار النواة بطاقة تماسكها ، و إنما يرتبط بطاقة التماسك لكل نيوكليون $\frac{E_\ell}{A}$ حيث :

$$\frac{E_\ell}{A} = (Z m_p + (A - Z) m_n - m) \frac{c^2}{A}$$

مثلا الحديد ${}^{56}\text{Fe}$ أكثر استقرار من اليورانيوم ${}^{238}\text{U}$ رغم أن طاقة الربط لنواة اليورانيوم أكبر طاقة الربط لنواة الحديد لكن : $\frac{E_\ell}{A}({}^{56}\text{Fe}) > \frac{E_\ell}{A}({}^{238}\text{U})$.

د- منحنى أستون (Aston) :

- نستعمل عادة نظير قيمة طاقة التماسك لكل نوكلين ، أي القيمة السالبة $(-\frac{E_\ell}{A})$ و التي تمثل الطاقة اللازمة لنزع نوكلين من النواة ، و منحى أستون هو منحى يدرس هذه الطاقة بدلالة العدد الكتلي A .
- من منحى أستون يمكن تمييز ثلاث حالات :

الحالة الأولى : $50 < A < 75$

نلاحظ في هذه الحالة لأن لمنحى أستون نهاية صغرى توافق طاقة ارتباط لكل نوكلين قدرها 8.7 MeV ، فالأنوية في هذا المجال تملك طاقة تماسك لكل نوكلين قيمتها المتوسطة حوالي 8.7 MeV ، هذه الأنوية هي الأكثر استقرار من بينها النحاس 63 و الحديد 56 .

الحالة الثانية : $A > 100$

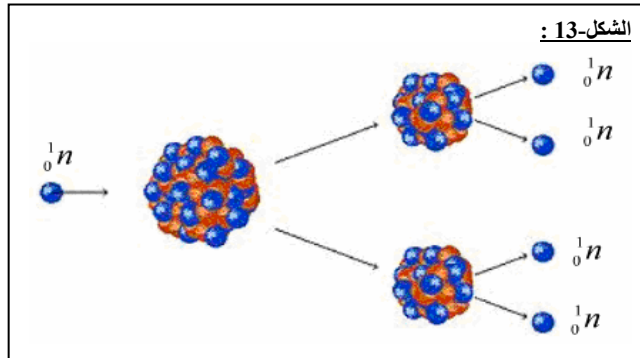
في هذه الحالة البيان يتزايد ببطء عندما نزداد قيم A ، هذا المجال يوافق الأنوية الثقيلة ، و هي أنوية قليلة الاستقرار $(\frac{E_\ell}{A} < 8 \text{ MeV})$.

الحالة الثالثة : $1 < A < 20$

الأنوية في هذه الحالة غير مستقرة (أنوية خفيفة) .

هـ- الانشطار النووي :

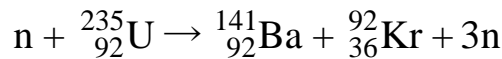
- الانشطار النووية هو عبارة عن تفاعل نووي مستحدث ناتج عن تصادم جسيمة (نيوترون مثلا) مع نواة ثقيلة منتجة نواتين خفيفتين .



- سبب اختيار النيوترون في عملية الانشطار النووي هو أن النيوترون جسيم متعادل كهربائيا مما يجعله لا يتنافر مع الأنوية .

- الأنوية الناتجة عن الانشطار تكون أكثر استقرارا من النواة المنشطرة .

مثال :

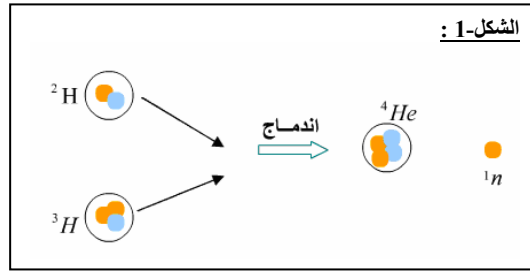


- تنتج طاقة كبيرة عن هذا التفاعل ، لأن كتلة اليورانيوم 235 أكبر بكثير من كتلة شظايا الانشطار و النيوترونات المحصل عليها .

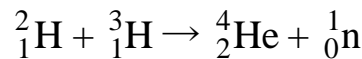
- إن النيوترونات المنبعثة في كل تفاعل انشطار تحدث تفاعلات أخرى ، معنى ذلك أن النيوترون الابتدائي يفتعل انشطار نواة اليورانيوم ، و النيوترونات المنبعثة تحدث انشطارات أخرى و هكذا تتضاعف الآلية كما مبين في الصورة الموضحة للتفاعل المتسلسل و كل هذا يحدث في زمن قصير جدا و هي الآلية التي تحدث في التفاعل الحادث أثناء انفجار القنبلة النووية .

و- الاندماج النووي :

- الاندماج النووي هو عبارة عن تفاعل نووي يتم خلاله ارتباط نواتين خفيفتين لتشكيل نواة ثقيلة .



- للحصول على تفاعلات الاندماج يتطلب ذلك درجة حرارة عالية .
مثال :

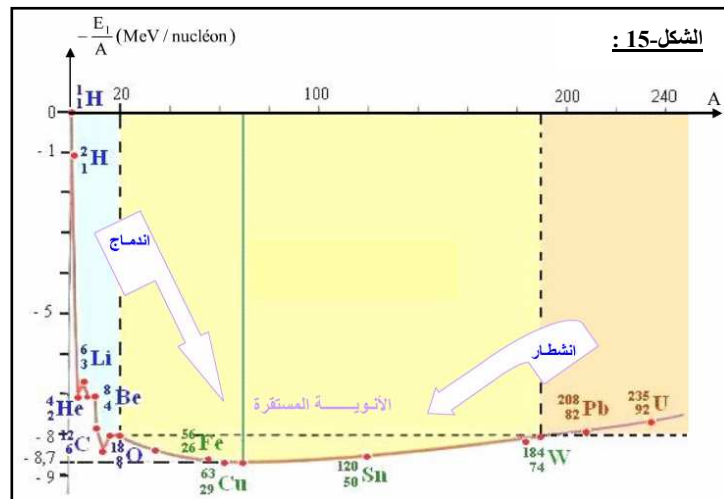


إن هذا التفاعل هو الأكثر احتمالاً في مفاعلات الاندماج مستقبلاً نظراً للإمكانيات الفيزيائية و التكنولوجية مقارنة بالتفاعلات الأخرى . وقود هذا التفاعل هو مزيج من الديتريوم (${}^2_1\text{H}$ أو d) و التريتيوم (${}^3_1\text{H}$ أو t) .
ملاحظة :

الأنوية غير المستقرة يمكن أن تتحول بطريقتين :

- الأنوية الثقيلة يمكنها أن تنتشر إلى نواتين خفيفتين نسبياً لمجال الاستقرار .

- بعض الأنوية الخفيفة (مثل ${}^3_1\text{H}$ ، ${}^2_1\text{H}$ ، ${}^1_1\text{H}$) : يمكنها أن تندمج لإعطاء نواة قريبة من مجال الاستقرار .

ي- الطاقة المحررة من تفاعل نووي :

- إن التفاعلات النووية تتبع دائماً بالتناقص في الكتلة ، أي أن كتلة النواتج لا تساوي كتلة المتفاعلات ($\Delta m \neq 0$) .
- أثناء تفاعل نووي تعطى الطاقة المحررة بالعلاقة :

$$| E_{\text{lib}} | = | \text{كتلة النواتج} - \text{كتلة المتفاعلات} | c^2$$

أي أن الطاقة المحررة من تفاعل نووي هي الفرق بين طاقة كتلة المتفاعلات و طاقة كتلة النواتج .
- الطاقة المحررة قد تكون على عدة أشكال ، حركية ، إشعاع γ و لحساب قيمة أحدهما نطبق مبدأ انحفاظ الطاقة الذي تطرقنا له في السنة الثانية ثانوي .