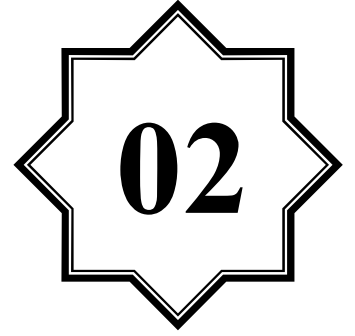


عروض نظري مختصر

التطورات الرتبة ٥

دراسة تحولات نووية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

تاريخ آخر تحديث : 2013/07/01

● بنية النواة :

- تتكون النواة من دقائق صغيرة جدا تدعى **النكليونات** 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 n : هو جسيم مادي متعادل كهربائيا (أي شحنته تساوي الصفر) و كتلته $m_n \approx 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

- يرمز لنواة العنصر X بالرمز التالي :

$${}_Z^A X$$

A : يدعى العدد الكتلي و يمثل عدد النكليونات (بروتونات + نيوترونات) في النواة .
Z : يدعى العدد الشحني و يدعى أيضا العدد الذري و هو يمثل عدد البروتونات في النواة المساوي لعدد الإلكترونات في الذرة .

- إذا كان N هو عدد النيوترونات في النواة يكون :

$$A = N + Z$$

● 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 .

● ملاحظة :

يرمز للبروتون بـ ${}_1^1 p$ ، و النيوترون بـ ${}_0^1 n$ و الإلكترون بـ ${}_{-1}^0 e$.

● النظائر :

- النظائر هي أفراد كيميائية تنتمي لنفس العنصر الكيميائي ، لها نفس الرقم الذري Z و تختلف في العدد الكتلي A .
- تكون مختلف نظائر العنصر نوعه الكيميائي في الطبيعة بحسب نسب تواجدها .

● 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 تماسكها و إلا حدث الانشطار . الاسم المعطى لهذه القوة هو القوة النووية القوية .

● تعريف التفكك الإشعاعي الطبيعي :

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

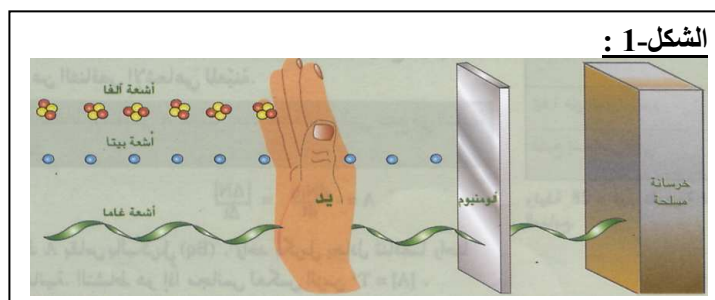
الجسيمات α : هي عبارة عن أنوية الهيليوم ${}^4_2\text{He}$. تنبعث بسرعة تصل إلى 20000 km/s ، يتم إيقافها بسهولة باستعمال حاجز ورقي أو يد إنسان (الشكل-1) .

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

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

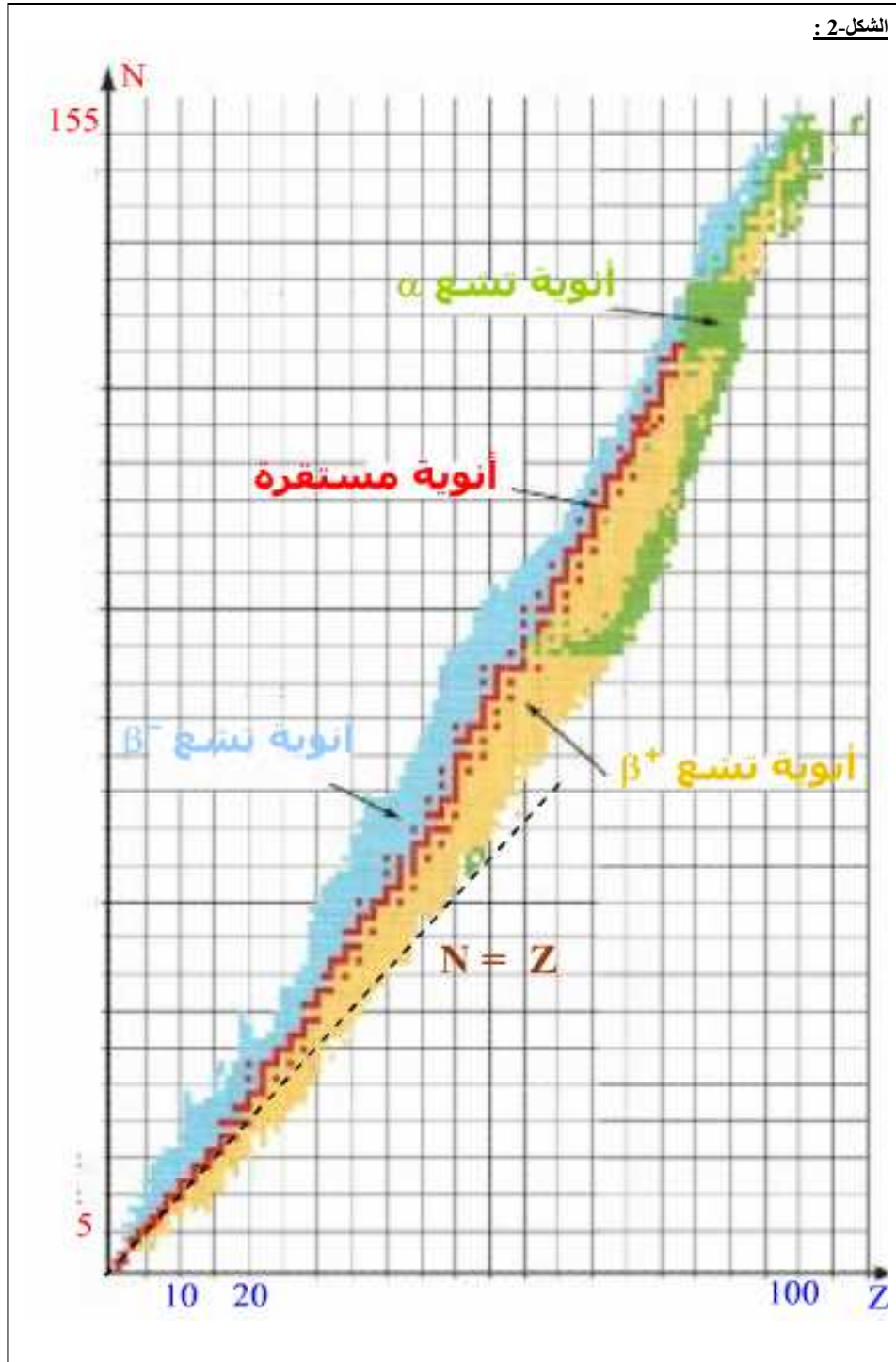
- تنبعث الجسيمات β^- ، β^+ من النواة بسرعة تصل إلى 280000 km/s . يتم إيقافها باستعمال صفيحة من الألمنيوم سمكها عدة ملليمترات .

الإشعاع γ : و هو إشعاع كهرومغناطيسي ذو طاقة عالية ليس له كتلة و لا شحنة يرافق التفككات السابقة (α ، β^- ، β^+) ، له القدرة على اختراق الأجسام بسهولة حيث يمكنه اختراق صفيحة من الرصاص سمكها 20 cm و حائط سميك من الاسمنت المسلح ، وهي إشعاعات خطيرة .

**● 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 ($N = Z$) .
- اللون الأزرق يمثل الأنوية الباعثة للجسيمة (β^-) و اللون الأحمر يمثل الأنوية الباعثة للجسيمة (β^+) و اللون الأصفر يمثل الأنوية الباعثة للجسيمة α .
- خارج الحزمة الملونة بالأصفر و الأخضر و الأزرق ما يعني بعيدا عن وادي الاستقرار لا توجد في الطبيعة مثل هذه الأنوية .

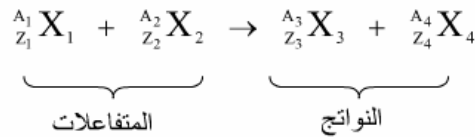
- عند التفكك الإشعاعي ، تؤول الأنوية إلى الاستقرار و الاقتراب من وادي الإستقرار أي التفكك الإشعاعي يؤدي إلى انسحاب النواة نحو وادي الإستقرار (الشكل-2) .
- الأنوية التي تنتمي إلى واد الإستقرار هي الأنوية الأكثر استقرارا وكلما ابتعدنا على واد الإستقرار كلما كان استقرار الأنوية أقل .



● مبدأ التفكك (قانون صودي) :

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

مثال :



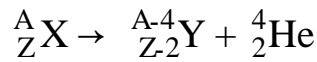
بتطبيق مبدأي الإنحفاظ (قانوني صودي) يكون :

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

ملاحظة :

يمكن لـ X أن يكون جسيما مثل (بروتون ${}_1^1p$ ، نوترون ${}_0^1n$ ، جسيم α (${}_2^4He$) ...)**أنواع التفككات و معادلاتها العامة :**■ التفكك α :

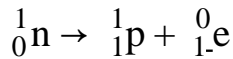
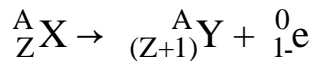
- أثناء التفكك α ينبعث جزء من النواة متمثل في الجسيم α (نواة الهيليوم) والجزء المتبقي هو نواة مختلفة .
- المعادلة العامة للتفكك α تكون من الشكل :



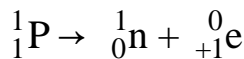
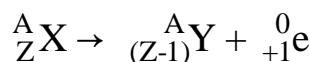
- هذا التفكك خاص بالأنوية الثقيلة .

■ التفكك β^- :

- في التفكك β^- يتحول النيوترون إلى بروتون مرفوق بانبعث جسيم β^- وفق المعادلة النووية التالية :

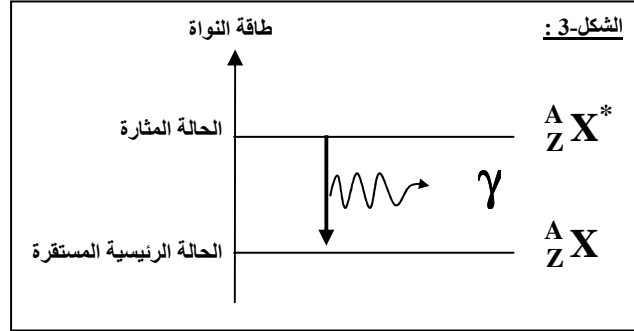
- المعادلة العامة للتفكك β^- تكون من الشكل :■ التفكك β^+ :

- التفكك β^+ يتواجد في الطبيعة بقلّة ، و لكن اصطناعيا يمكن الحصول عليه بوفرة .
- في التفكك β^+ يتحول البروتون إلى نيوترون مرفوق بانبعث جسيم β^+ وفق المعادلة النووية التالية :

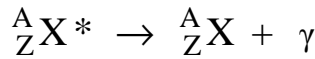
- المعادلة العامة للتفكك β^+ تكون من الشكل :

■ التفكك الإشعاعي γ :

- خلال التفكك الإشعاعي γ يحدث استقرار أنوية مثارة طاقياً (أنوية أب) الناتجة عن تفكك نووي ، ينتج عن ذلك نواة ابن مستقرة طاقياً ، الطاقة الإضافية التي تحملها النواة الأب المثارة ، تتحرر على شكل اشعاعات γ .



- معادلة التفاعل النووي لهذا التفكك الإشعاعي كالتالي :



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

${}^A_Z X$ هي النواة الابن المستقرة طاقياً (في حالتها الرئيسية).

● قانون التناقص الإشعاعي :

- إن تفكك الأنوية هي ظاهرة عشوائية محضة ، حيث لا يمكن التنبؤ باستمرار تفكك نواة أو توقفها عن ذلك ، لذا لا يمكن دراسة الأنوية انفرادياً كما تعودنا ذلك في دراسة تطور حركة نقطة مادية .
 - لدراسة تفكك الأنوية ندرسها دراسة إحصائية أي ندرس عينة من الأنوية ونعمم الدراسة على كل الأنوية مجتمعة رغم أن تفكك هذه الأنوية انفرادياً لم يكن متماثلاً 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 الابتدائية (عند اللحظة $t = 0$) .

N هو عدد الأنوية المتبقية غير المتفككة 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 وحدته الثانية s ، يمثل الزمن الذي تتفكك خلاله نصف الأنوية المشعة و يمكن توضيح ذلك كما يلي :

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

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

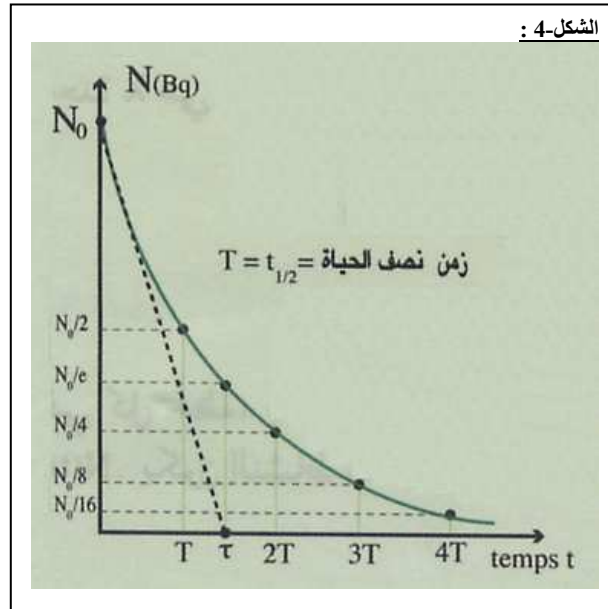
$$t = t_2 = 2 t_{1/2} \rightarrow N = N_2 = \frac{N_1}{2} = \frac{N_0}{(2)^2}$$

$$t = t_3 = 3 t_{1/2} \rightarrow N = N_3 = \frac{N_2}{2} = \frac{N_0}{(2)^3}$$

....

$$t = t_n = n t_{1/2} \rightarrow N = N_n = \frac{N_0}{(2)^n}$$

و هندسيا يكون :



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

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

و هندسيا يمثل τ تقاطع مماس البيان $N = f(t)$ عند اللحظة $t = 0$ مع محور الأزمنة (الشكل-11) .

● النشاط الإشعاعي :

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

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

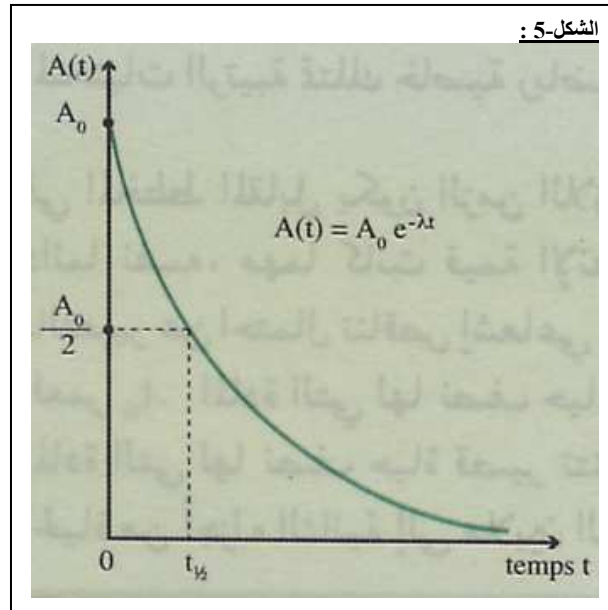
و حيث أن : $N = N_0 e^{-\lambda t}$ يمكن كتابة :

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

حيث $A_0 = \lambda N_0$ هو مقدار النشاط الابتدائي (عند $t = 0$).
• يمكن استنتاج :

$$t = nt_{1/2} \rightarrow A = \frac{A_0}{(2)^n}$$

و هندسيا يكون :



• تطبيق النشاط الإشعاعي في مجال التأريخ :

- يمكن بواسطة الإشعاع تقدير عمر المواد العضوية كبقايا الأعضاء النباتية أو الحيوانية ذات عمر يقارب 40000 سنة باستعمال الكربون 14 .

- مبدأ التأريخ بواسطة الكربون 14 يستند إلى النظرية القائلة بأن " نسبة النظير ^{14}C في الجو مستقلة عن الزمن " أي أن النسبة $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$ في الكون و في العالم الحي عموما (ثابتة لأجل 20000 سنة الأخيرة) ، و عند موت عضو نباتي مثلا فإن نسبة الكربون 14 تبدأ في التناقص بسبب التناقص الإشعاعي للكربون 14 ، نشير إلى أن أنوية الكربون 12 لا تتناقص أثناء ذلك .

- معرفة نسبة الكربون 14 المتبقي من خلال معرفة $(A(t), N(t), m(t) \dots)$ في لحظة ما تسمح باستنتاج عمر عينات من الخشب أو العظم مثلا وفق العلاقة :

$$\frac{A}{A_0} = \frac{N}{N_0} = \frac{m}{m_0} = e^{-\lambda t}$$

حيث t هو عمر العينة .

ملاحظة :

- عادة عندما يكون عمر العينة (عظم مثلاً) آلاف السنين لا يمكن الرجوع آلاف السنين لحساب A_0 ، لذلك لحساب A_0 في هذه الحالة نأخذ عينة حديثة (عظم حيوان مات حديثاً) و نقوم بحساب نشاطها الإشعاعي ، فانشاط الإشعاعي للعينة الحديثة هو بمثابة النشاط الإشعاعي للعينة القديمة في اللحظة $t = 0$.

- عدد الأنوية الابتدائية في عينة ما مساوي لمجموع عدد الأنوية المتفككة مضاف إليها عدد الأنوية المتبقية ، فبمعرفة عدد الأنوية المتبقية غير المتفككة N و عدد الأنوية المتفككة يمكن حساب عدد الأنوية الابتدائية N_0 (عند $t = 0$) و بالتالي تتوفر كل المعطيات لتحديد عمر العينة من خلال العلاقة : $N = N_0 e^{-\lambda t}$.

● وحدة الكتلة الذرية u :

إن الكتل الفردية المستخدمة في التفاعلات النووية صغيرة جداً ، 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 أيضاً وحدة الكتلة الذرية على أنها $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12 و التي نعتبرها m_C حيث يكون :

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

● طاقة الكتلة :

- في إطار النظرية النسبية اقترح أنشتاين في بداية القرن العشرين أن كل كتلة تصحبها طاقة تدعى طاقة الكتلة يعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$E_0 = mc^2$$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$: سرعة الضوء في الفراغ ، m : الكتلة (kg) ، E_0 : طاقة الكتلة (J)
- في السلم الذري توجد وحدات أخرى للطاقة أهمها ، الإلكترون فولت eV و الميغا إلكترون فولت MeV حيث :

$$\begin{aligned} 1\text{eV} &= 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ 1\text{MeV} &= 10^6 \text{ eV} \\ 1\text{MeV} &= 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

ملاحظة :

يمكن حساب طاقة الكتلة التي توافق كتلة ذرية u حيث نجد :

$$E = \frac{1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2}{1.6 \times 10^{-13}} = 933.75 \text{ MeV}$$

● النقص الكتلي و عبارة طاقة التماسك :

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

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

حيث m_p : كتلة البروتون ، m_n : كتلة النيوترون ، $m(X)$: كتلة النواة .

- طاقة التماسك (أو طاقة الربط) هي الطاقة اللازمة لتماسك النويات ، و هي نفسها الطاقة اللازمة لفصل النويات عن بعضها ، يعبر عنها بالعلاقة :

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

● استقرار الأنوية :

- لا يرتبط استقرار النواة بطاقة تماسكها ، و إنما يرتبط بطاقة التماسك لكل نكليون $\frac{E_{\ell}}{A}$ الذي يعبر عنه بالعلاقة :

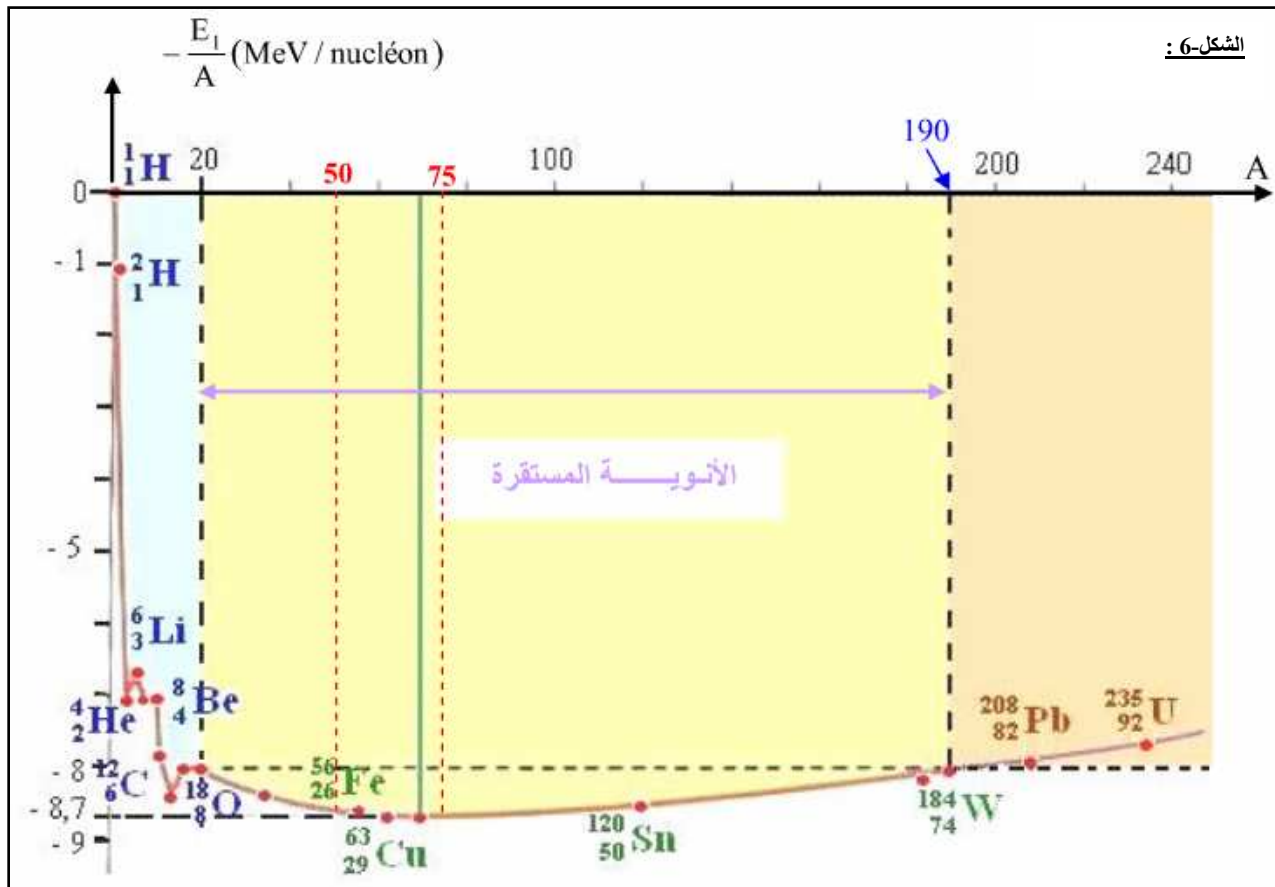
$$\frac{E_{\ell}}{A} = (Z m_p + (A - Z) m_n - m(X)) \frac{c^2}{A}$$

و تكون النواة أكثر استقرار كلما كانت طاقة التماسك لكل نكليون $\frac{E_{\ell}}{A}$ أكبر .

مثال :

الحديد ^{56}Fe أكثر استقرار من اليورانيوم ^{235}U رغم أن طاقة الربط لنواة اليورانيوم أكبر طاقة الربط لنواة الحديد لكن : $\frac{E_{\ell}}{A}(^{56}\text{Fe}) > \frac{E_{\ell}}{A}(^{235}\text{U})$.

● منحنى أستون (Aston) :



- نستعمل عادة القيمة السالبة $(-\frac{E_\ell}{A})$ لطاقة التماسك لكل نكليون و التي تمثل الطاقة اللازمة لنزع نكليون واحد من النواة ، و منحني أستون هو منحني يدرس هذه الطاقة بدلالة العدد الكتلي A .
- من منحني أستون يمكن تمييز ثلاث حالات :

الحالة الأولى : $50 < A < 75$

في هذه الحالة أن لمنحني أستون نهاية صغرى توافق طاقة التماسك لكل نكليون قدرها 8.7 MeV ، فالأنوية في هذا المجال هي الأكثر استقرار من بينها النحاس 63 و الحديد 56 .

الحالة الثانية : $A > 190$

في هذه الحالة البيان يتزايد ببطء عندما تزداد قيم A ، هذا المجال يوافق الأنوية الثقيلة ، و هي أنوية قليلة الاستقرار $(\frac{E_\ell}{A} < 8 \text{ MeV})$ و مثال على ذلك نذكر الرصاص 208 ، اليورانيوم 235 .

الحالة الثالثة : $1 < A < 20$

الأنوية في هذه الحالة غير مستقرة و خفيفة .

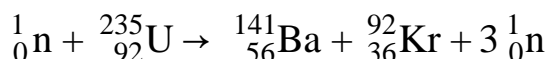
● الانشطار النووي :

- الانشطار النووي 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 :

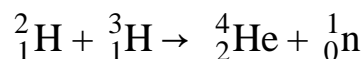


- إن النيوترونات المنبعثة في كل تفاعل انشطار تحدث تفاعلات أخرى ، معنى ذلك أن النيوترون الابتدائي يفتعل انشطار نواة اليورانيوم ، و النيوترونات المنبعثة تحدث انشطارات أخرى و هكذا تتضاعف الآلية كما مبين في الصورة الموضحة للتفاعل المتسلسل و كل هذا يحدث في زمن قصير جدا و هي الآلية التي تحدث في التفاعل الحادث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

● الاندماج النووي :

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

مثال :

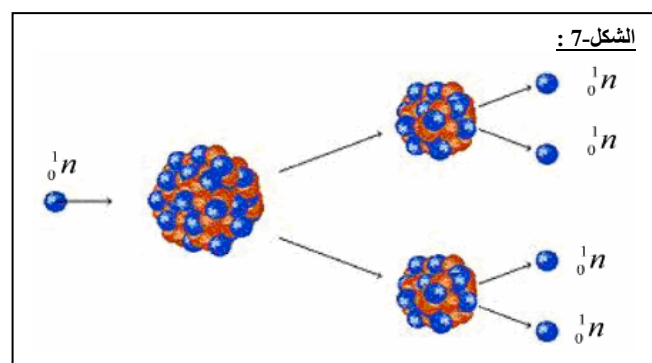


إن هذا التفاعل هو الأكثر احتمالا في مفاعلات الاندماج مستقبلا نظرا للإمكانيات الفيزيائية و التكنولوجية مقارنة بالتفاعلات الأخرى .

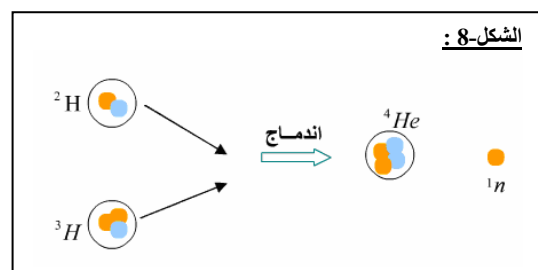
● ملاحظة :

الأنوية غير المستقرة يمكن أن تتحول بطريقتين :

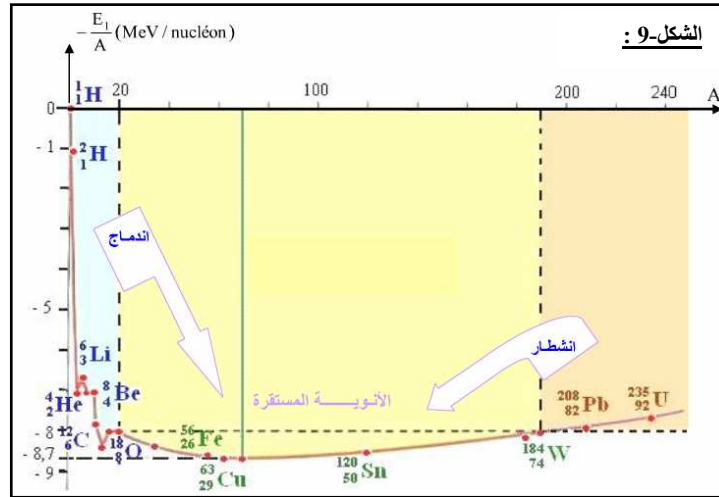
- الأنوية الثقيلة يمكنها أن تنشط إلى نواتين خفيفتين نسبيا أكثر استقرارا من النواة المنشطرة .



الشكل-8 :

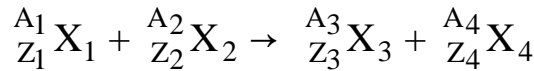


- بعض الأنوية الخفيفة (مثل ^1_1H ، ^2_1H ، ^3_1H) : يمكنها أن تندمج لإعطاء نواة أكثر استقرار .



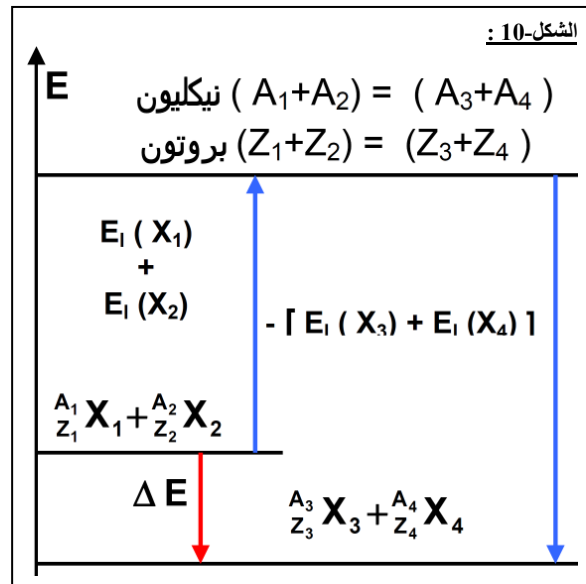
● الحصلة الكتلية و الطاقة لتفاعل نووي :

ليكن التحول الطاقوي النمذج بالمعادلة النووية التالية :



- أثناء التفاعل النووي تتفكك الأنوية المتفاعلة إلى نوياتها و بعدها تتشكل من جديد مكونة أنوية جديدة المتمثلة في النواتج .

- بما أن كتلة النواة اقل من كتلة مكوناتها فهذا يعني أن الجملة المتكونة من النواتين (X_1 ، X_2) يلزمها إكتساب طاقة لكي تتفككا ، هذه الطاقة تتمثل في طاقتي تفكك النواتين المتفاعلتين ($E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)$) ، و بالمثل إن الجملة المتكونة من نكليونات النواتين (نكليونات X_1 ، نكليونات X_2) يلزمها تقديم طاقة لكي تتشكل الأنوية الناتجة (X_3 ، X_4) هذه الطاقة تتمثل في طاقة تماسك النواتين الناتجتين ($E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)$) .
- يمكن تمثيل الحصلة الطاقة للتفاعل السابق على ضوء ما قلناه كما يلي :



و من هذا المخطط يمكن كتابة عبارة الطاقة المحررة من التفاعل السابق بالعلاقة :

$$E_{\text{lib}} = |\Delta E| = |(E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)) - (E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2))|$$

و كون أن :

$$E_{\ell}(X_1) = Z_1 m_p + (A_1 - Z_1) m_n - m(X_1)$$

$$E_{\ell}(X_2) = Z_2 m_p + (A_2 - Z_2) m_n - m(X_2)$$

$$E_{\ell}(X_3) = Z_3 m_p + (A_3 - Z_3) m_n - m(X_3)$$

$$E_{\ell}(X_4) = Z_4 m_p + (A_4 - Z_4) m_n - m(X_4)$$

يمكن كتابة عبارة الطاقة المحررة كما يلي :

$$E_{lib} = |\Delta E| = | m(X_1) + m(X_2) - (m(X_3) - m(X_4)) | c^2$$

** الأستاذ : فرقاني فارس **

ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم

الخروب - قسنطينة

Fares_Fergani@yahoo.Fr

Tel : 0771998109

نرجو إبلاغنا عن طريق البريد الإلكتروني بأي خلل في الدروس أو التمارين و حلولها .
وشكرا مسبقا

لتحميل نسخة من هذه الوثيقة و للمزيد . أدخل موقع الأستاذ ذو العنوان التالي :

www.sites.google.com/site/faresfergani