

النوى - الكتلة - الطاقة

5

Noyaux - masse - énergieI - التكافؤ كتلة - طاقة :1 - علاقة انشتاين :

توصل انشتاين سنة 1905 من خلال الميكانيك النسبية أن هناك تكافؤ بين الطاقة ( تمثل الكتلة شكلا من أشكال الطاقة ) .  
طاقة الكتلة : هي التي تمتلكها مجموعة كتلتها m في حالة سكون :

$$E = m.c^2$$

(J)                      (kg)                      (m.s<sup>-1</sup>)

c : سرعة الضوء

يتبين من خلال العلاقة أن كل تغير في الكتلة  $\Delta m$  يقابله تغير في الطاقة  $\Delta E$  :  $\Delta E = \Delta m.c^2$

حيث إذا تناقصت الكتلة ( $\Delta m < 0$ ) خلال تحول فإن  $\Delta E < 0$  أي أن مجموعة تحرر الطاقة إلى الوسط الخارجي.  
إذا تزايدت الكتلة ( $\Delta m > 0$ ) خلال تحول فإن  $\Delta E > 0$  أي أن مجموعة تكتسب الطاقة إلى الوسط الخارجي.

2 - وحدات الكتلة و الطاقة :أ - وحدة الكتلة الذرية :

بما أن النوى و الدقائق صغيرة جدا لهذا نستعمل في الفيزياء النووية وحدة تسمى و وحدة الكتلة الذرية  $u$  و تساوي  $\frac{1}{12}$  من كتلة ذرة

الكربون  $^{12}_6C$  :

$$1u = \frac{m(^{12}_6C)}{12} = \frac{12}{12 \times 6,023.10^{23}}$$

$$1u = 1,66054.10^{-27} \text{ kg}$$

إلكترون	نوترون	بروتون	الدقيقة
0,00055	1,00866	1,00728	الكتلة (u)
0,5	939,565	938,272	الطاقة (MeV)

ب - وحدة الطاقة : إلكترون - فولت

في الفيزياء النووية الجول (J) وحدة غير ملائمة للطاقة لهذا نستعمل إلكترون - فولت

$$1eV = 1,602177.10^{-19} \text{ J}$$

حيث :

$$1MeV = 10^6 eV = 1,602177.10^{-13} \text{ J}$$

ج - الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u :

$$E = m.c^2 = 1,66054.10^{-27} \times (299792458)^2$$

$$E = 1492,42.10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{1492,42 \cdot 10^{-13}}{1,602177 \cdot 10^{-13}} \text{ MeV}$$

$$E = 931,5 \text{ MeV}$$

$$1u = 931,5 \text{ MeV} / c^2$$

## II - طاقة الربط :

### 1 - النقص الكتلي :

نسمى النقص الكتلي  $\Delta m$  لنواة  ${}^A_Z X$  الفرق بين مجموع كتل النويات و كتلة النواة :

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m({}^A_Z X)$$

$\Delta m > 0$  مقدار موجب

❖ مثال : النقص الكتلي لنواة الهيليوم  ${}^4_2 \text{He}$

$$m({}^4_2 \text{He}) = 4,00154u$$

بينت قياسات دقيقة أن كتلتها هي :

$$2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n = 2 \times 1,00728 + 2 \times 1,00866 = 4,03232u$$

$$\Delta m = 4,03232 - 4,0015$$

إذن :

$$\Delta m = 0,0305u > 0$$

### 2 - طاقة الربط لنواة :

طاقة الربط  $E_l$  لنواة  ${}^A_Z X$  هي الطاقة التي يجب إعطاؤها لنواة في حالة سكون لفصل نوياتها و تبقى في حالة سكون :

$$E_l = \Delta m \cdot c^2 = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m({}^A_Z X)] c^2$$

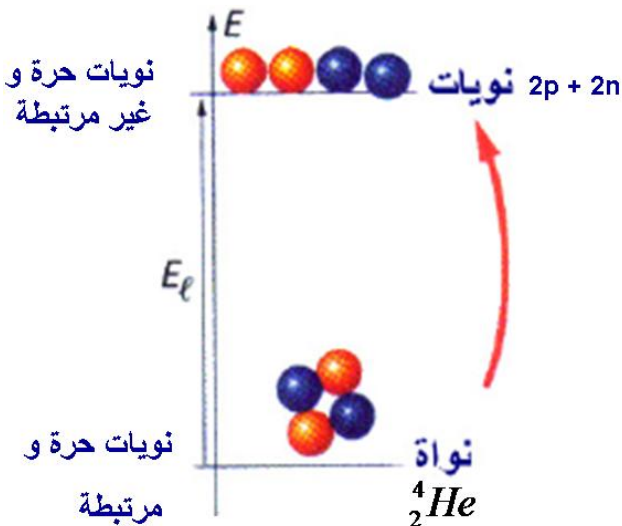
❖ مثال : طاقة الربط لنواة الهيليوم  ${}^4_2 \text{He}$

$$E_l = \Delta m \cdot c^2 = 0,0305 \times 931,5$$

$$E_l = 28,41 \text{ MeV}$$

بما أن  $\Delta m > 0$  فإن  $E_l > 0$

❖ مخطط الطاقة لنواة الهيليوم :



- تكون النواة يتم بطاقة :  $\Delta E = -E_l < 0$

- فصل نويات نواة يتم بطاقة :  $\Delta E = E_l > 0$

يعزى تماسك النواة إلى وجود قوى تجاذبية بين النويات و تسمى قوى التأثيرات البينية القوية شدتها كبيرة جدا مقارنة مع قوى التنافر

الكهر ساكن بين البروتونات.

### 3 - طاقة الربط بالنسبة لنوية :

هي طاقة الربط المتوسطة لنوية يعبر عنها بالعلاقة :  $\xi = \frac{E_l}{A}$

وحدتها  $MeV / nucléon$  حيث  $E_l$  : طاقة الربط و  $A$  : عدد النويات

تمكن طاقة الربط بالنسبة لنوية من إعطاء فكرة عن مدى استقرار النواة حيث كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة كلما كانت النواة أكثر استقرار .

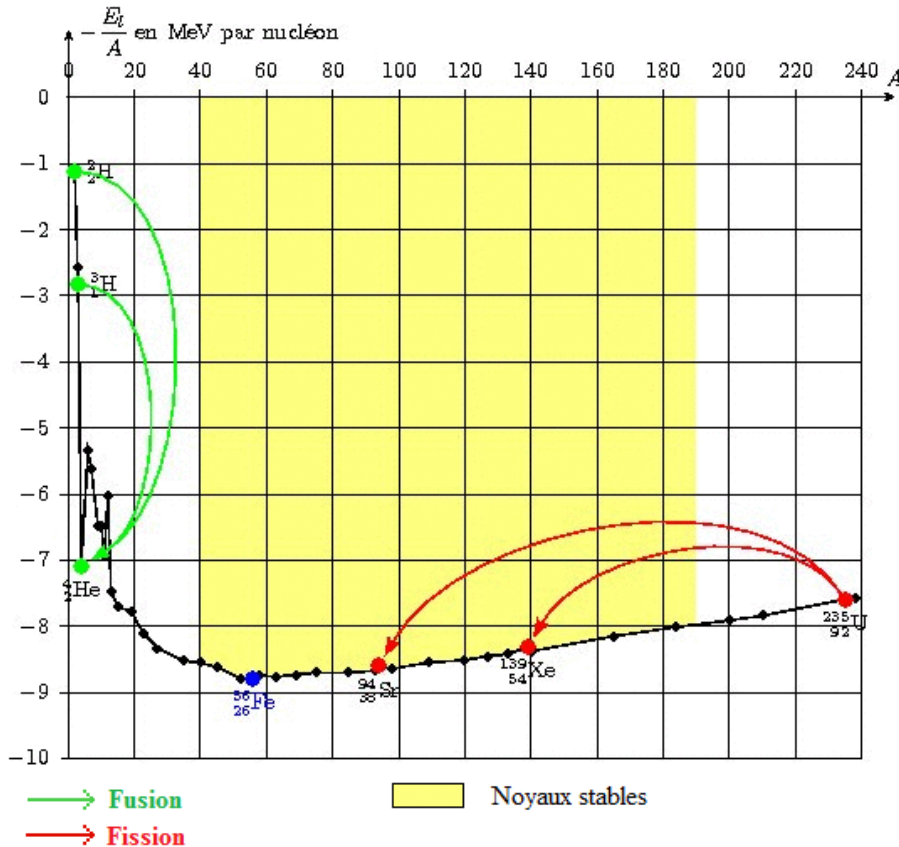
❖ مثال : طاقة الربط لنوية :  $\xi({}_2^4He) = \frac{E_l}{A} = \frac{28,4}{4} = 7,1 MeV / nucléon$

النواة	${}_1^2H$	${}_2^4He$	${}_{26}^{56}Fe$	${}_{92}^{238}U$
$E_l (MeV)$	2,2	28	$4,9.10^2$	$1,8.10^3$
$\frac{E_l}{A} (MeV / nucléon)$	1,1	7,1	8,8	7,6

- نواة الهيليوم  ${}_2^4He$  أكثر استقرار من نواة دوتريوم  ${}_1^2H$

### 4 - منحنى أسطون : Aston

يمثل منحنى أسطون تغيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية  $\left(-\frac{E_l}{A}\right)$  بدلالة عدد النويات  $A$  :



❖ بالنسبة ل  $20 < A < 195$ 

نلاحظ على المنحنى قيما دنيا ل  $-\frac{E_l}{A}$  تقارب قيمتها المطلقة  $8MeV / nucléon$  و تضم هذه المنطقة النوى الأكثر استقرار .

❖ بالنسبة ل  $A < 20$  ,  $A > 195$ 

نلاحظ أن طاقة الربط بالنسبة لنوية لهذه النوى ضعيفة أي أن هذه النوى غير مستقرة :

❖ بالنسبة ل  $A < 20$ 

هي نوى خفيفة غير مستقرة تتحدد فيما بينها لتعطي نواة أكثر ثقلا و أكثر استقرار و تسمى بالاندماج النووي.

❖ بالنسبة ل  $A > 195$ 

هي نوى ثقيلة غير مستقرة تنشط إلى نوى خفيفة أكثر استقرار و تسمى بالانشطار النووي.

❖ ملحوظة :

- النواة الأكثر استقرار هي نواة الحديد لهذا توجد في الكون بوفرة.
- الانشطار و الاندماج تفاعلا نوويان **محرّضان** (يتدخل فيهما الانسان)

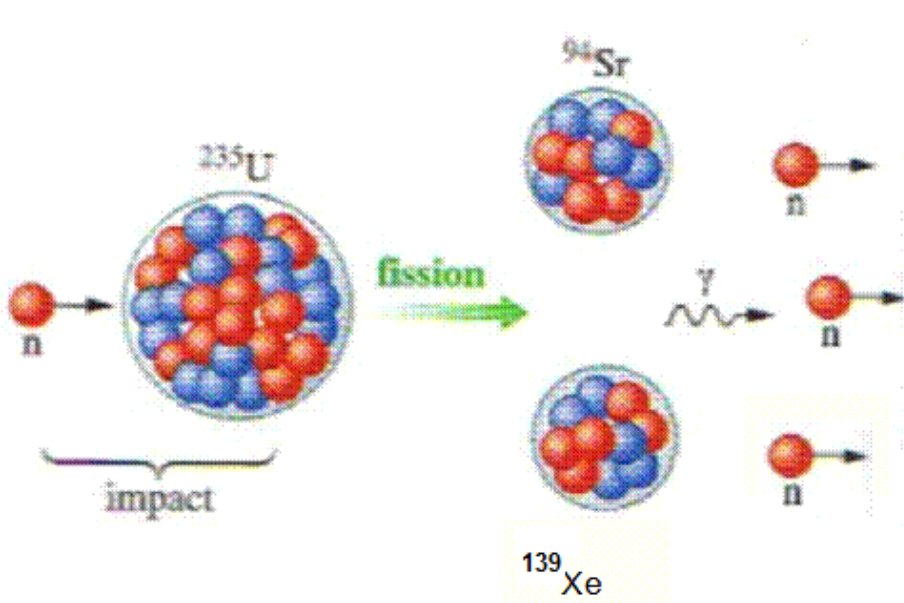
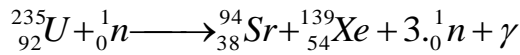
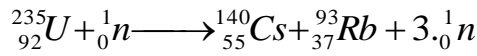
### III – الانشطار و الاندماج النوويان :

#### 1 – الانشطار النووي :

##### أ – تعريف :

الانشطار النووي تفاعل نووي محرّض تنقسم خلاله نواة ثقيلة شظورة بعد قذفها بنوترون حراري إلى نواتين خفيفتين :

❖ مثال : انشطار الأورانيوم

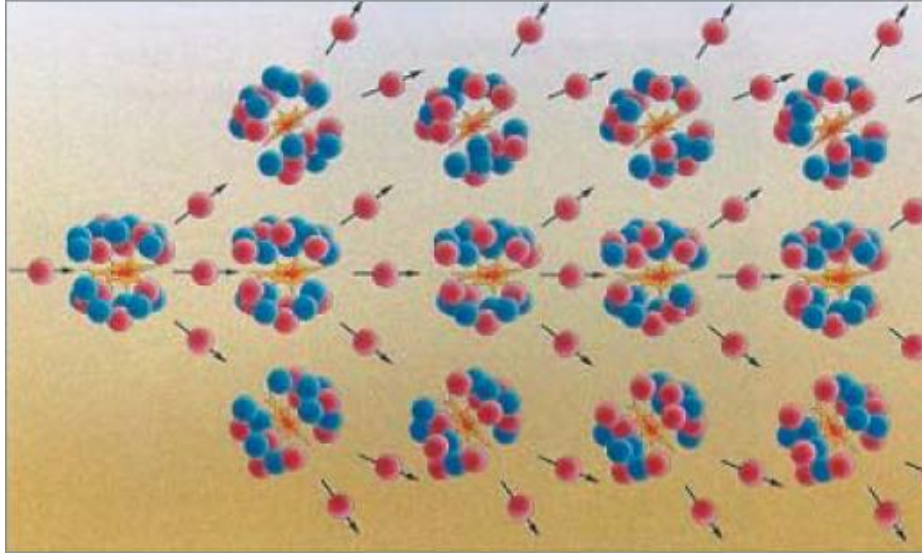


##### ب – تفاعل متسلسل :

يمكن للنوترونات المنبعثة خلال انشطار أن تحدث انشطار نوى أخرى محدثا تفاعل متسلسل.

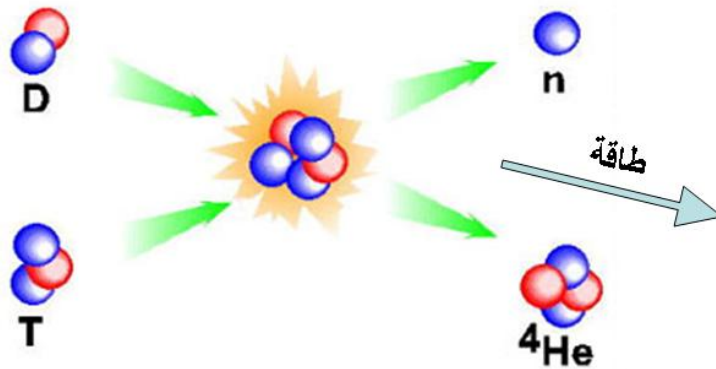
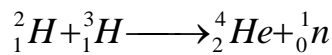
يستعمل الانشطار النووي في

- القنبلة النووية A : تفاعل انشطار متحكم فيه

2 - الاندماج النووي :أ - تعريف :

الاندماج النووي تفاعل نووي محرّض تتحد خلاله نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا :

❖ مثال : اندماج نظائر الهيدروجين



❖ ملحوظة :

- الاندماج النووي تفاعل ناشر للطاقة يستعمل في القنابل الهيدروجينية.

- يحدث هذا التفاعل داخل الشمس.

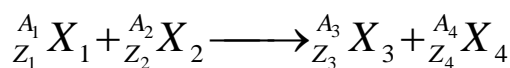
ب - شروط تحقق الاندماج النووي :

يتطلب الاندماج النووي طاقة للنواتين تمكنهما من التغلب على قوى التأثيرات التنافرية و يتطلب توفير الطاقة درجة حرارة عالية لهذا

السبب ينبعث الاندماج بالتفاعل النووي الحراري.

IV - الحصيلة الكتلية و الطاقية لتفاعل نووي :1 - الحالة العامة :

نعتبر التحول النووي التالي :



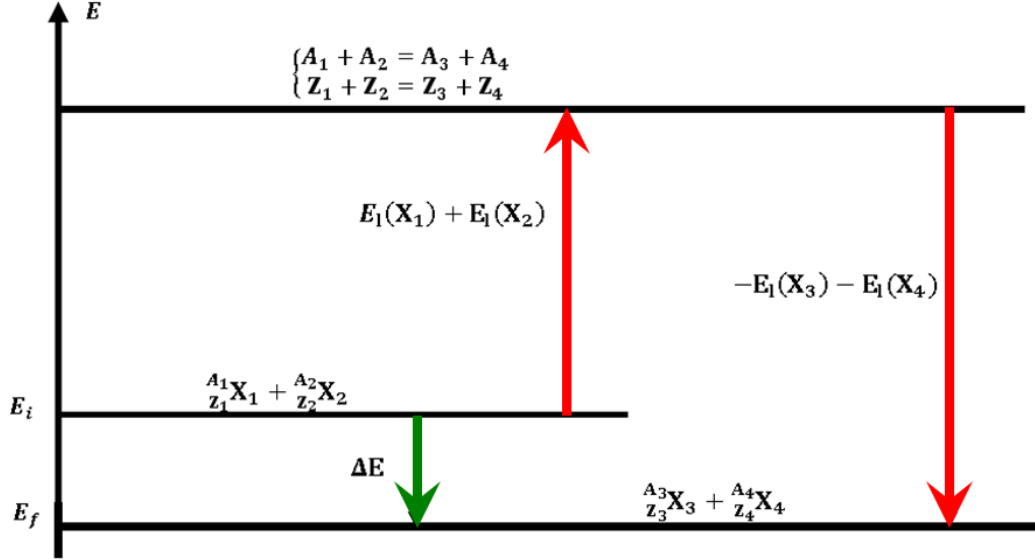
$$\Delta E = [E_l(X_1) + E_l(X_2)] - [E_l(X_3) + E_l(X_4)]$$

الحصيلة الطاقية لهذا التفاعل :

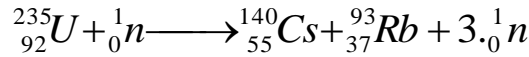
E<sub>l</sub>(X<sub>i</sub>) : تمثل طاقة الربط للنواة أو الدقيقة.

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [\sum m(\text{نواتج}) - \sum m(\text{متفاعلات})]c^2$$

حسب تعبير طاقة الربط يصبح :

❖ مخطط الطاقة :E<sub>i</sub> : الطاقة البدئية للمجموعة ( المتفاعلات ).E<sub>f</sub> : الطاقة النهائية للمجموعة ( النواتج ).[E<sub>l</sub>(X<sub>1</sub>) + E<sub>l</sub>(X<sub>2</sub>)] : الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين X<sub>1</sub> و X<sub>2</sub> إلى نواتين.-[E<sub>l</sub>(X<sub>3</sub>) + E<sub>l</sub>(X<sub>4</sub>)] : الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكوين النواتين X<sub>3</sub> و X<sub>4</sub> انطلاقا من نويات .2 - تطبيقات على الانشطار و الاندماج النوويين :أ - الانشطار النووي :

نعتبر الانشطار النووي التالي :

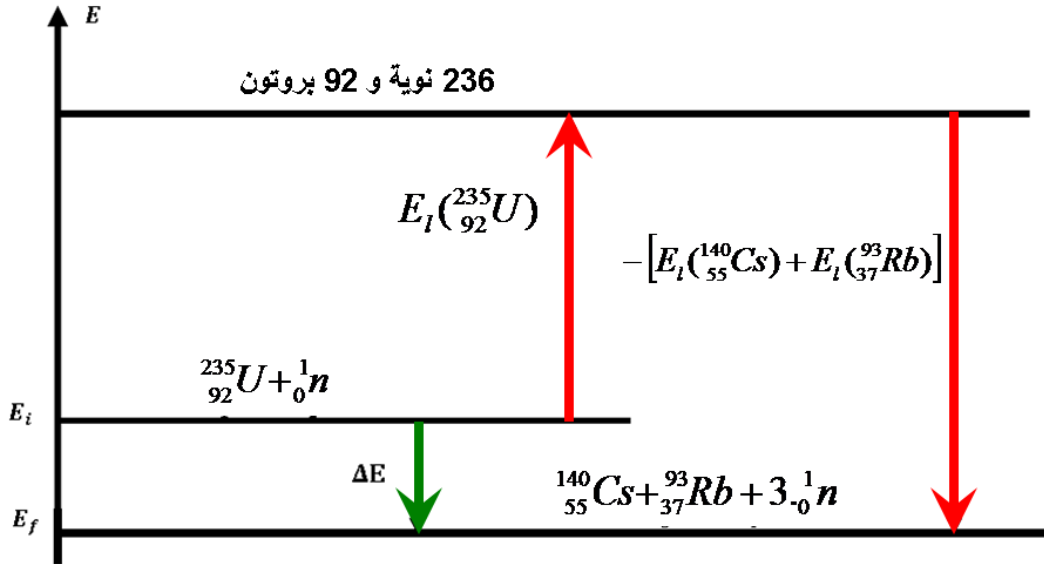


$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [m({}^{140}_{55}\text{Cs}) + m({}^{93}_{37}\text{Rb}) + 3.m({}^1_0\text{n}) - m({}^{235}_{92}\text{U}) - m({}^1_0\text{n})]c^2$$

$$\Delta E = [139,88711 + 92,90174 + 2 \times 1,00866 - 234,99346](3.10^8)^2$$

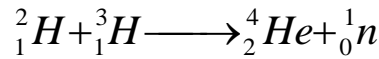
$$\Delta E = -2,7952.10^{-11} \text{ J} = -174,46 \text{ MeV}$$

هذا يعني أن انشطار نواة واحد من الأورانيوم 235 تحرر طاقة E<sub>0</sub> = 174,46 MeV❖ مخطط الطاقة :



**ب - الاندماج النووي :**

نعتبر الاندماج النووي التالي :

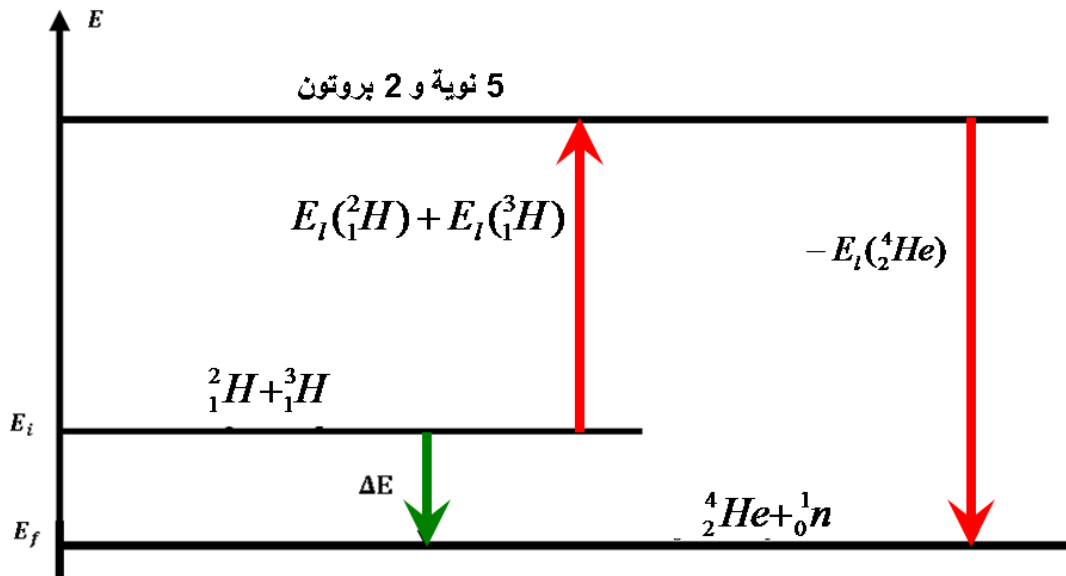


$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(^4_2He) + m(^1_0n) - m(^2_1H) - m(^3_1H)]c^2$$

$$\Delta E = [4,0015 + 1,00866 - 2,01355 - 3,0155] \times 931,5$$

$$\Delta E = -17,585 \text{ MeV}$$

❖ مخطط الطاقة :



❖ ملحوظة :

- تفاعلات الاندماج تنتج طاقة أكبر من تفاعلات الانشطار.
- الانشطار النووي تؤدي إلى تكون نواتج مشعة تشكل خطر على البيئة.
- تفاعل الاندماج لم يتمكن الانسان التحكم فيه.

**3 - تطبيقات على التحولات النووية التلقائية :**

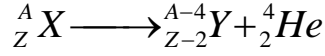
✓ بالنسبة للتحولات المحرصة ( الانشطار و الاندماج ) :

إذا كان  $\Delta E < 0$  : تحرر الطاقة إلى المحيط الخارجي.

إذا كان  $\Delta E > 0$  : تكتسب الطاقة من المحيط الخارجي.

✓ بالنسبة للتحويلات التلقائية تكون  $\Delta E < 0$  دائما سالبة و تسمى الطاقة المحررة و نرمز لها ب  $E$  :

### أ - النشاط الإشعاعي $\alpha$ :

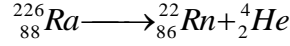


معادلة التفتت :

$$E = [m({}^{A-4}_{Z-2} Y) + m({}^4_2 He) - m({}^A_Z X)]c^2$$

الطاقة المتحررة :

❖ مثال :

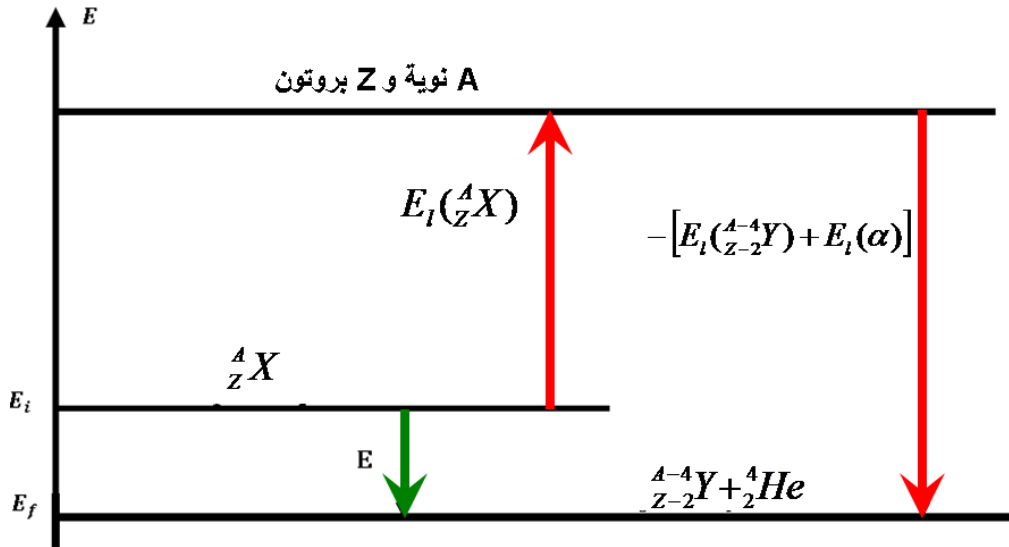


$$m({}^{226}_{88} Ra) = 225,977u \quad \text{و} \quad m({}^{222}_{86} Rn) = 221,9702u \quad \text{و} \quad m({}^4_2 He) = 4,0015u$$

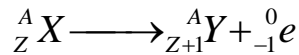
$$E = [221,9702 + 4,0015 - 225,977] \times 931,5$$

$$E = -4,94MeV$$

❖ مخطط الطاقة :



### ب - النشاط الإشعاعي $\beta^-$ :

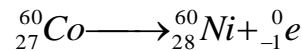


معادلة التفتت :

$$E = [m({}^A_{Z+1} Y) + m({}^0_{-1} e) - m({}^A_Z X)]c^2$$

الطاقة المتحررة :

❖ مثال :

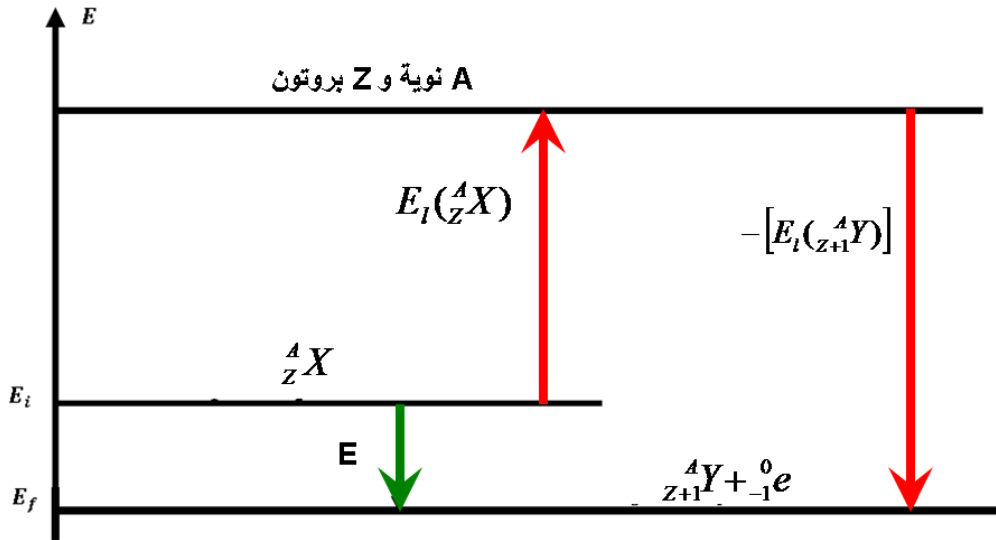


$$m({}^{60}_{27} Co) = 59,9190u \quad \text{و} \quad m({}^{60}_{28} Ni) = 59,915u \quad \text{و} \quad m({}^0_{-1} e) = 5,49 \cdot 10^{-4}u$$

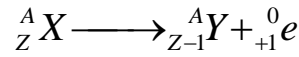
$$E = [59,915 + 5,49 \cdot 10^{-4} - 59,9190] \times 931,5$$

$$E = -3,214MeV$$





ج - النشاط الإشعاعي  $\beta^+$  :

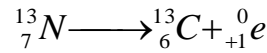


معادلة التفتت :

$$E = [m({}^A_{Z-1} Y) + m({}^0_{+1} e) - m({}^A_Z X)]c^2$$

الطاقة المتحررة :

❖ مثال :

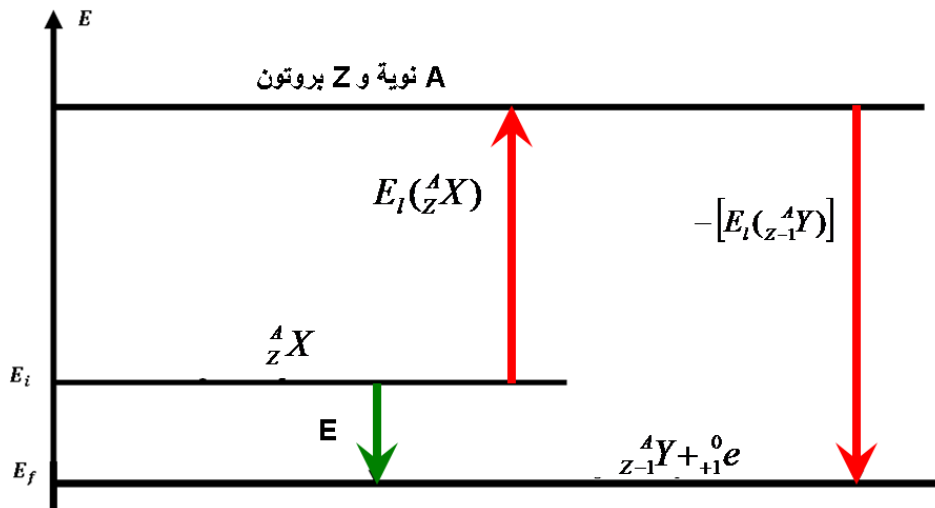


$$m({}^{13}_7 N) = 13,001898u \quad \text{و} \quad m({}^{13}_6 C) = 13,000062u \quad \text{و} \quad m({}^0_{+1} e) = 5,49.10^{-4}u$$

$$E = [13,000062 + 5,49.10^{-4} - 13,001898]931,5$$

$$E = -1,1988MeV$$

❖ مخطط الطاقة :



V - استعمالات و التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي :

❖ المجال الطبي :

تستعمل كميات ضئيلة جدا من الإشعاعات النووية في ميدان الطب كعنصر استشفائي إما لتشخيص الأمراض أو معالجتها كالسرطان.

تشكل كمية الإشعاعات النووية ذات الطاقة العالية خطرا على الانسان لأنها تتفاعل مع المادة المكونة لجسمه إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة تشوهات بيوكيميائية على الجلد و الجهاز التنفسي و الغدة الدرقية التي تساعد على إنتاج هرمون النمو و الخصيتين و المبيضين و الاصابة بالسرطان و التشوه الخلقي للأطفال المولودين من أباء و أمهات تعرضوا لهذه الإشعاعات. وتتعلق خطورة هذه الإشعاعات بطبيعة الأشعة و بالكمية التي يمتصها الجسم.

### ❖ المجال الصناعي :

تنتج محطات النووية الحديثة طاقة كهربائية هائلة جدا و بدون نفايات و إشعاعات قد تضر الانسان و الطبيعة حيث تلبى ما يزيد عن 16% من احتياجات الطاقة الكهربائية في العالم.

بمقارنة الطاقة الكهربائية الناتجة عن الأورانيوم مع الطاقة الكهربائية الناتجة عن احتراق البترول و الفحم نجد أنها أكبر بملايين المرات حيث :

- ينتج عن انشطار نوية واحدة من الأورانيوم طاقة  $E = 184,93MeV$

- ينتج عن احتراق ذرة واحد من الفحم (الكربون) طاقة  $E = 4eV$

- ينتج عن انشطار 5g من الأورانيوم طاقة  $E = 3,79.10^{11} J$  و لانتاج نفس الطاقة يجب حرق 9tonnes من البترول, علما أن احتراق

1kg من البترول ينتج طاقة تساوي 42MJ