5

النـــوى – الكتلـــة – الطاقـــة

Noyaux – masse – énergie

I – 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) $(m.s^{-1})$

c : سرعة الضوء

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

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 حدة الكتلة الذرية u و تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$:

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

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

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

ب – وحدة الطاقة : إلكترون – فولط

في الفيزياء النووية الجول (J) وحدة غير ملائمة للطاقة لهذا نستعمل إلكترون – فولط

حيث : $1eV = 1{,}602177.10^{-19}\,J$

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

ج – الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u :

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

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

$$E = \frac{1492,42.10^{-13}}{1,602177.10^{-13}} MeV$$

$$E = 931,5MeV$$

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

II – طاقة الربط :

1 – النقص الكتلي :

نسمي النقص الكتلي Δm لنواة ${}^{A}_{Z}X$ الفرق بين مجموع كتل النويات و كتلة النواة :

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

$\Delta m > 0$ مقدار موجب

❖ مثال : النقص الكتلي لنواة الهيليوم ${}^{4}_{2}He$

بينت قياسات دقيقة أن كتلتها هي : $m({}^{4}_{2}He) = 4,00154u$

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

إذن :

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

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

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 :

$$E_l = \Delta m.c^2 = \left[Z.m_p + (A-Z).m_n - m({}^{A}_{Z}X)\right]c^2$$

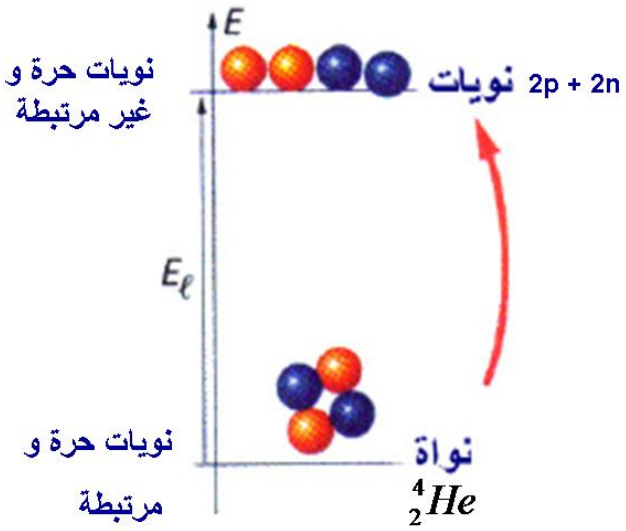
❖ مثال : طاقة الربط لنواة الهيليوم ${}^{4}_{2}He$

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

$$E_l = 28,41MeV$$

بما أن $\Delta m > 0$ فإن $E_l > 0$

❖ مخطط الطاقة لنواة الهيليوم :



- تكوُن 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 .

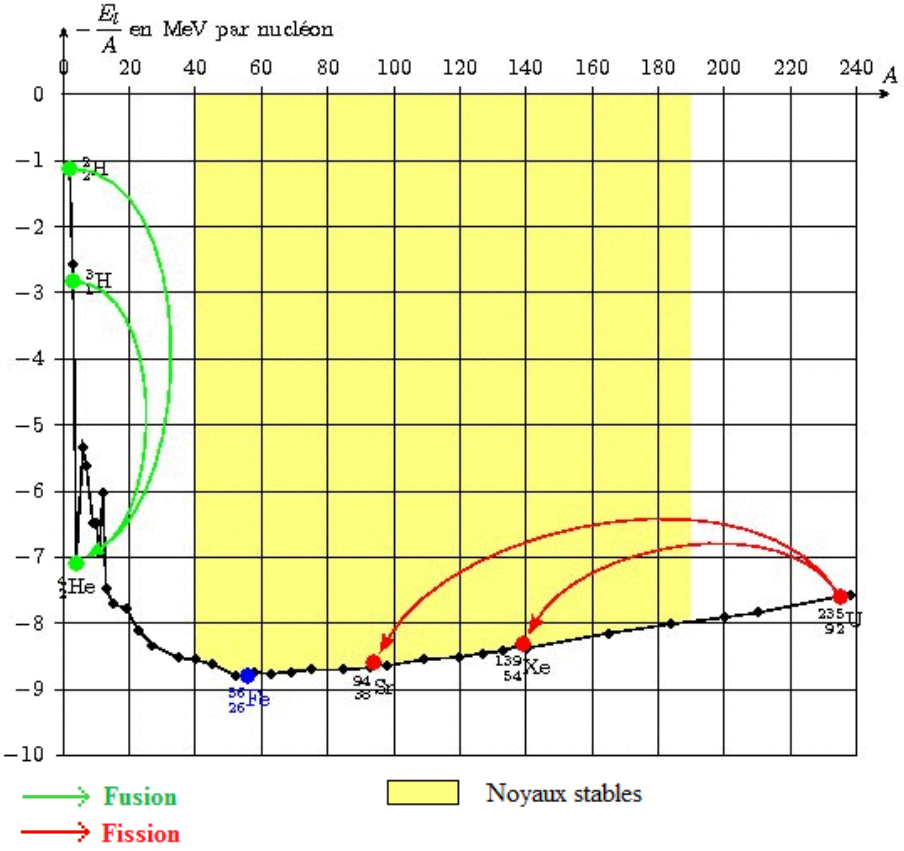
❖ مثال : طاقة الربط لنوية : $\xi\left({}^{4}_{2}He\right) = \frac{E_l}{A} = \frac{28,4}{4} = 7,1MeV/nucléon$

النواة	${}^{2}_{1}H$	${}^{4}_{2}He$	${}^{56}_{26}Fe$	${}^{238}_{92}U$
$E_l = (MeV)$	**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 ${}^{4}_{2}He$ أكثر إستقرار من نواة دوتريوم ${}^{2}_{1}H$

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 تنشطر إلى نوى خفيفة أكثر استقرار و تسمى بالانشطار النووي.

❖ ملحوظة :

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

III – الانشطار و الاندماج النوويان :

1 – الانشطار النووي :

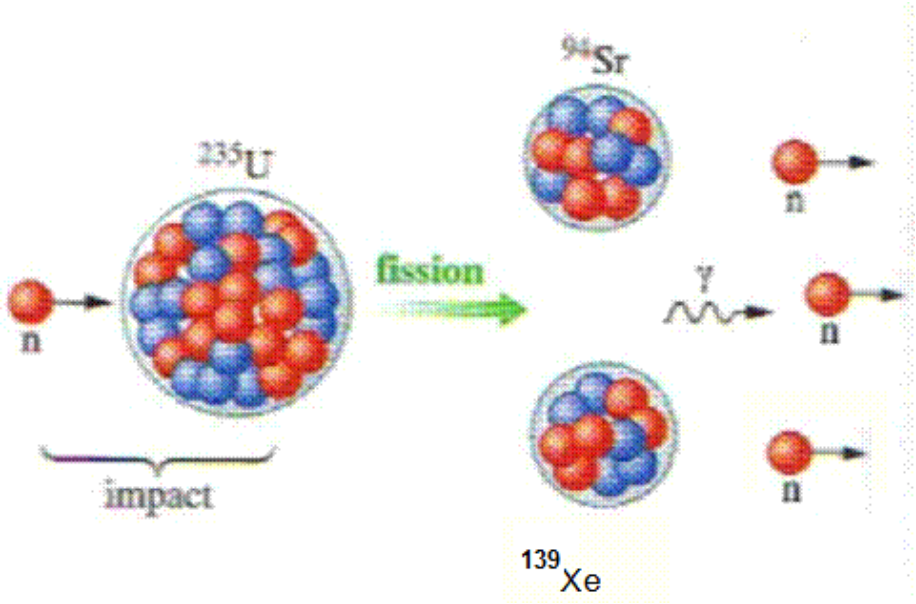
أ – تعريف :

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

❖ مثال : انشطار الأورانيوم

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

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



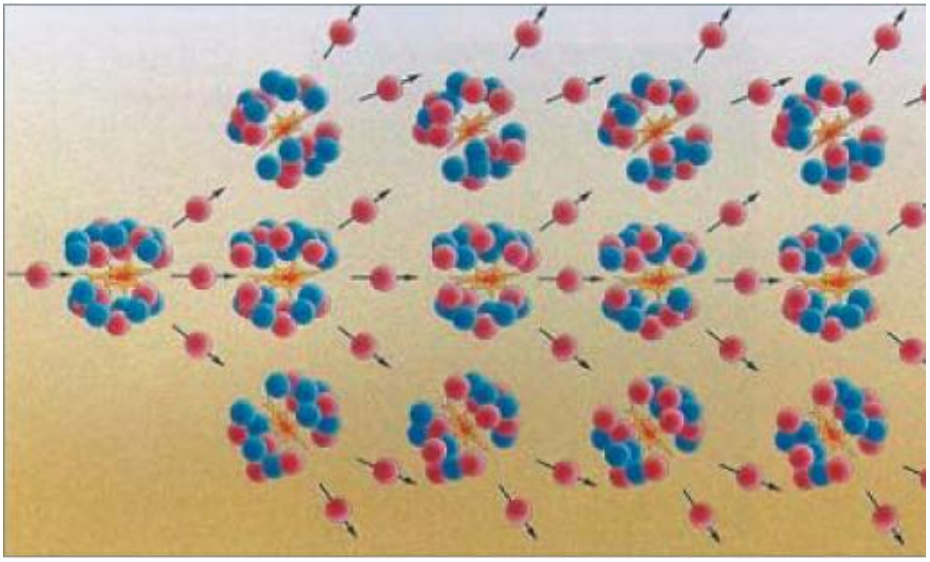
ب – تفاعل متسلسل :

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

يستعمل الانشطار النووي في

- القنبلة النووية A : تفاعل انشطار متحكم فيه

- المفاعلات النووية : انشطار متحكم فيه (انتاج الطاقة الكهربائية)



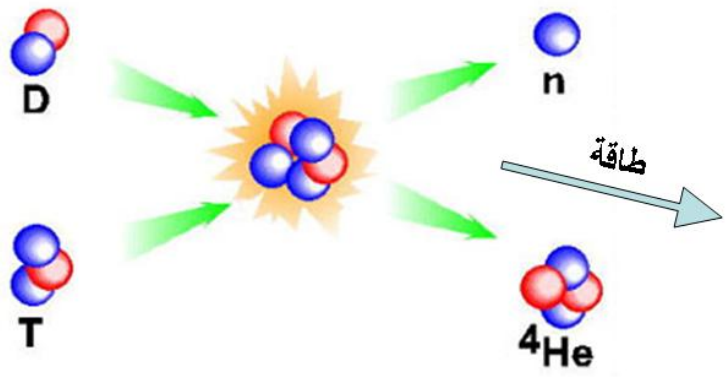
2 – الاندماج النووي :

أ – تعريف :

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

❖ مثال : اندماج نظائر الهيدروجين

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



❖ 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 ة لهذا السبب ينعث الاندماج بالتفاعل النووي الحراري.

IV – الحصيلة الكتلية و الطاقية لتفاعل نووي :

1 – الحالة العامة :

نعتبر التحول النووي التالي :

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

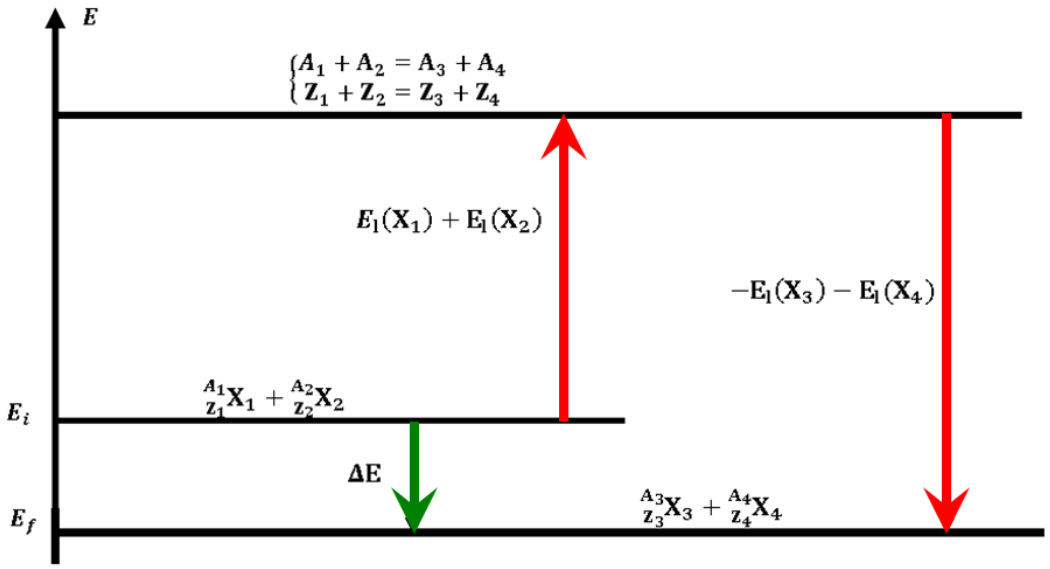
X_i : تمثل النوى أو الدقائق

الحصيلة الطاقية لهذا التفاعل : $\Delta E = [E_l(X_1) + E_l(X_2)] - [E_l(X_3) + E_l(X_4)]$

$E_l(X_i)$: تمثل طاقة الربط للنواة أو الدقيقة.

حسب تعبير طاقة الربط يصبح : $\Delta E = \Delta m.c^2 = [\Sigma m(\text{نواتج}) - \Sigma m(\text{متفاعلات})]c^2$

❖ مخطط الطاقة :



E_i : الطاقة البدئية للمجموعة (المتفاعلات).

E_f : الطاقة النهائية للمجموعة (النواتج).

$[E_l(X_1) + E_l(X_2)]$: الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين X_1 و X_2 إلى نواتين.

$-[E_l(X_3) + E_l(X_4)]$: الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكوين النواتين X_3 و X_4 انطلاقا من نويات .

2 – تطبيقات على الانشطار و الاندماج النوويين :

أ – الانشطار النووي :

نعتبر الانشطار النووي التالي :

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

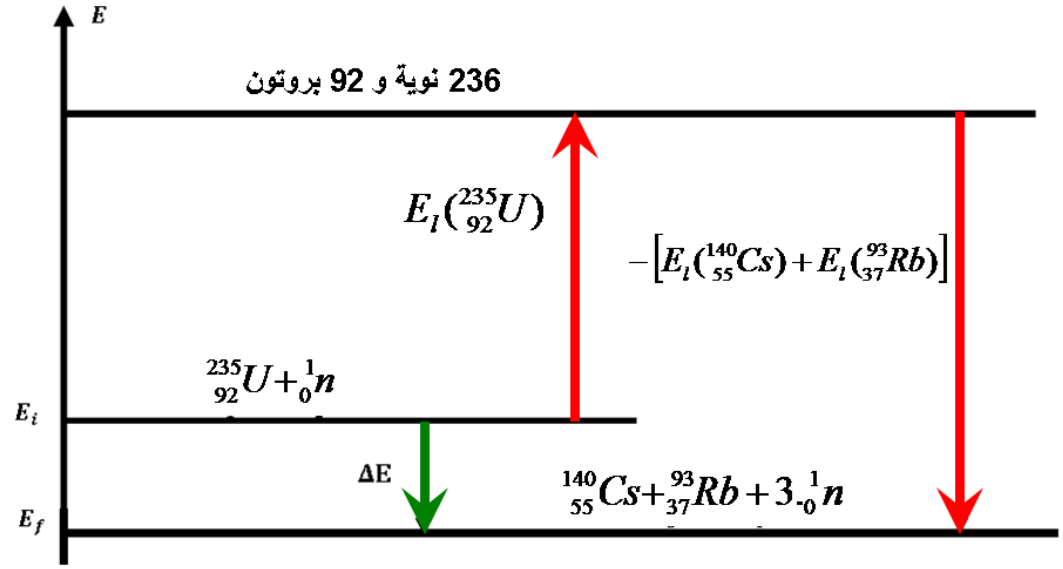
$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(^{140}_{55}Cs) + m(^{93}_{37}Rb) + 3.m(^{1}_{0}n) - m(^{235}_{92}U) - m(^{1}_{0}n)]c^2$$

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

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

هذا يعني أن انشطار نواة ةاحد من الأورانيوم 235 تحرر طاقة $E_0 = 174,46 MeV$

❖ مخطط الطاقة :



ب – الاندماج النووي :

نعتبر الاندماج النووي التالي :

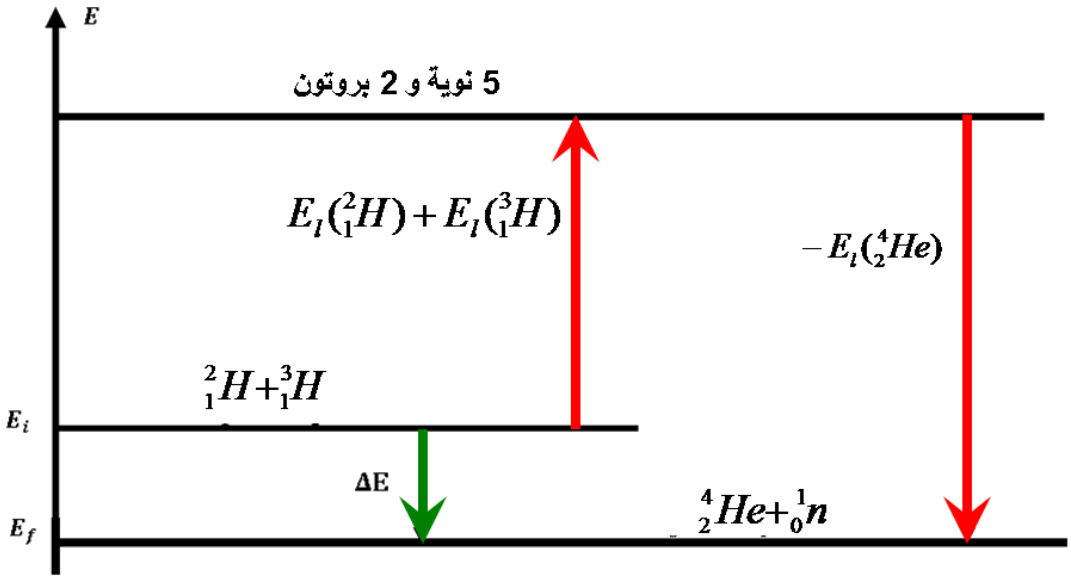
$$^{2}_{1}H+^{3}_{1}H\longrightarrow ^{4}_{2}He+^{1}_{0}n$$

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

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

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

❖ 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 المحرضة (الانشطار و الاندماج) :

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

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

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

أ – النشاط الاشعاعي α :

معادلة التفتت :

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

الطاقة المتحررة :

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

❖ مثال :

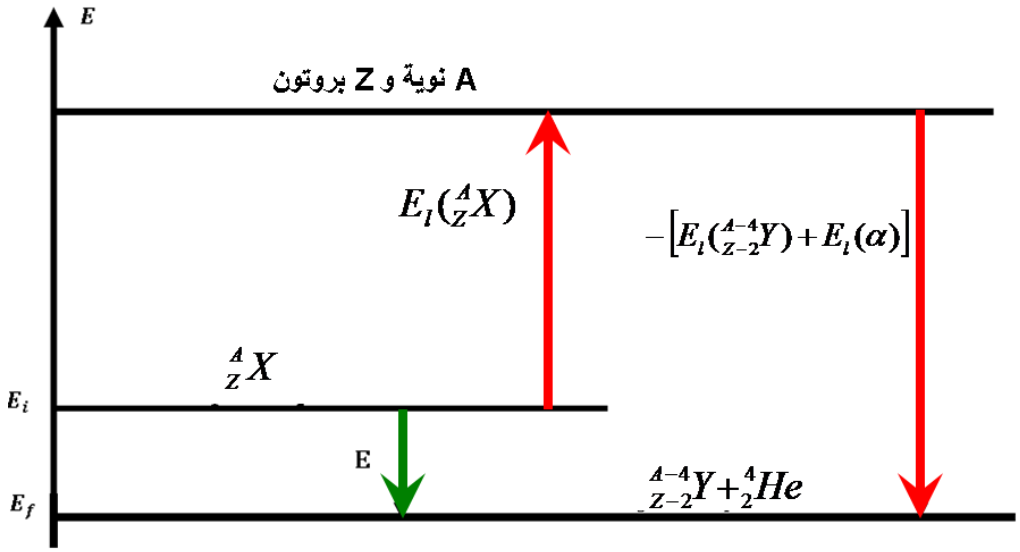
$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow ^{22}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$$

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

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

$$E = -4,94MeV$$

❖ مخطط الطاقة :



ب – النشاط الاشعاعي β^- :

معادلة التفتت :

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

الطاقة المتحررة :

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

❖ مثال :

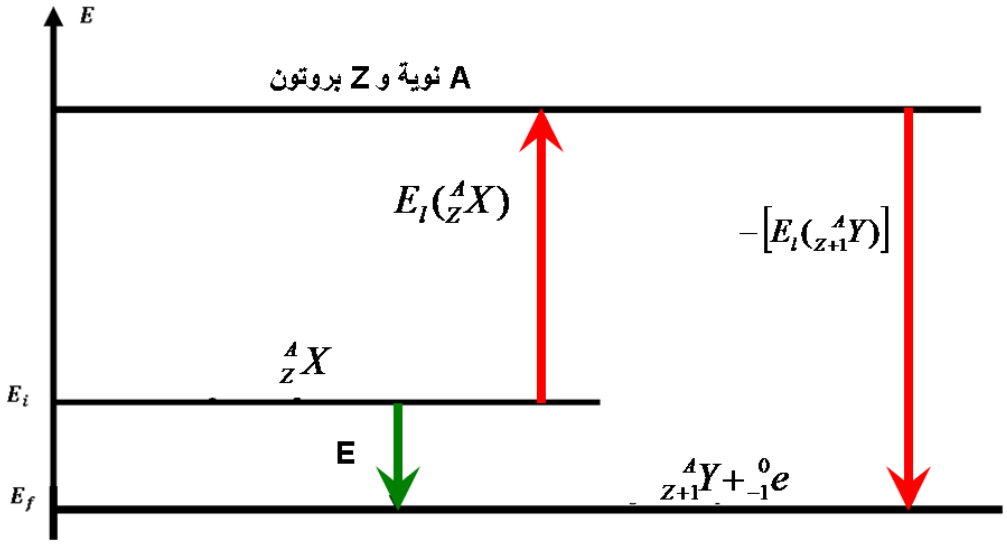
$$^{60}_{27}Co \longrightarrow ^{60}_{28}Ni + ^{0}_{-1}e$$

$m(^{60}_{27}Co) = 59,9190u$ و $m(^{60}_{28}Ni) = 59,915u$ و $m(^{0}_{-1}e) = 5,49.10^{-4}u$

$$E = \left[59,915 + 5,49.10^{-4} - 59,9190\right]931,5$$

$$E = -3,214MeV$$

❖ مخطط الطاقة :



ج – النشاط الاشعاعي β^+ :

معادلة التفتت : $$^A_ZX \longrightarrow ^A_{Z-1}Y + ^0_{+1}e$$

الطاقة المتحررة : $$E = \left[m(^A_{Z-1}Y) + m(^0_{+1}e) - m(^A_ZX)\right]c^2$$

❖ مثال :

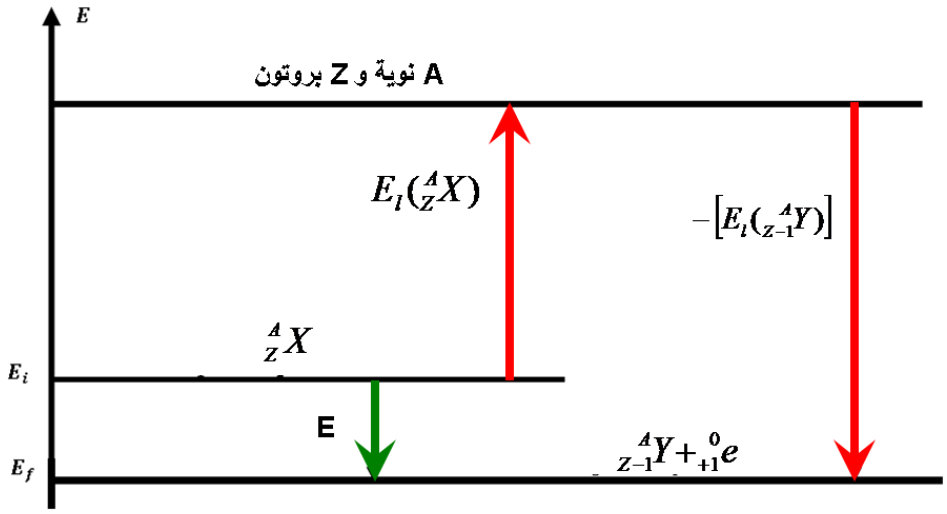
$$^{13}_7N \longrightarrow ^{13}_6C + ^0_{+1}e$$

$m(^{13}_7N) = 13{,}001898u$ و $m(^{13}_6C) = 13{,}000062u$ و $m(^0_{+1}e) = 5{,}49.10^{-4}u$

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

$$E = -1{,}1988MeV$$

❖ مخطط الطاقة :



V – استعمالات و التأثيرات البيولوجية للنشاط الاشعاعي :

❖ المجال الطبي :

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

تشكل كمية الاشعاعات النووية ذات الطاقة العالية خطرا على الانسان لأنها تتفاعل مع المادة المكونة لجسمه إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة تشوهات بيوكيميائية عل الجلد و الجهاز التنفسي و الغدة الدرقية التي تساعد على انتاج هرمون النمو و الخصيتين و المبيضين و الاصابة بالسرطان و التشوه الخلقي للأطفال المولودين من أباء و أمهات تعرضا لهذه الاشعاعات.

وتتعلق خطورة هذه الاشعاعات 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 تلبي 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 نويدة 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**