بسم الله الرحمن الرحيم الثانية باكالوريا الفيزياء	**النوى - الكتلة والطاقة** **Noyaux – masse & énergie**	الجزء الثاني : التحولات النووية الوحدة 2 10 س / 5 س

1- التكافؤ " كتلة – طاقة " :

1-1- علاقة أينشتاين :

توصل **أينشتاين** من خلال الميكانيك النسبوية الخاصة سنة 1905 م ، إلى أن هناك **تكافؤ بين الكتلة والطاقة** .

تمتلك كل مجموعة كتلتها ، في حالة سكون ، طاقة E تسمى طاقة الكتلة .
تعبيرها هو : $E = m.c^2$ وحدتها هي الجول J حيث c : سرعة الضوء في الفراغ $c = 299792458\ m.s^{-1} \approx 3.10^8 m.s^{-1}$

تبين هذه العلاقة أنه عندما تتغير كتلة مجموعة بالمقدار Δm خلال تحول ما ، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو : $\Delta E = \Delta m.c^2$.

عندما تنقص كتلة مجموعة في سكون $(\Delta m < 0)$ ، فإن طاقتها الكتلية تنقص كذلك $(\Delta E < 0)$: **تمنح المجموعة طاقة للوسط الخارجي** . وعندما تزداد الكتلة $(\Delta m > 0)$ ، فإن المجموعة **تستقبل طاقة من الوسط الخارجي** $(\Delta E > 0)$.

1-2- وحدات الكتلة والطاقة :

وحدة الطاقة في (ن.ع) هي الجول J ، لكن في الفيزياء النووية يفضل استعمال **الإلكترون-فولط** (eV) ومضاعفاته حيث $1eV = 1,602177.10^{-19}J$ و $1MeV = 10^6 eV$

أما بالنسبة للكتلة الذرية نستعمل **وحدة الكتلة الذرية** u وهي تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12 .

نعلم أن مولا واحدا من ذرات الكربون 12 يتكون من $\mathcal{N} = 6,02.10^{23}$ ذرة وكتلته هي 12g . وبالتالي :

$1u = \frac{1}{12} m\left({}^{12}_{6}C\right) = \frac{M\left({}^{12}_{6}C\right)}{12.N_A} = \frac{12}{12\times 6,02.10^{23}}$ فنجد $1u = 1,66054.10^{-27} kg$

الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية هي :

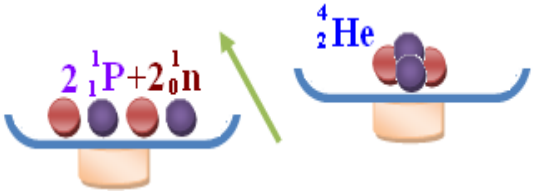
$$E = m.c^2 = 1u.c^2 = 1,66054.10^{-27} \times (299792458)^2 = 1,49242.10^{-10} J$$

أي $E = \frac{1,49242.0^{-10}}{1,602177.10^{-13}} = 931,5 MeV$ ومنه فإن $1u = 931,5\ \frac{MeV}{c^2}$

2- طاقة الربط :

2-1- النقص الكتلي :

بينت القياسات الدقيقة أن كتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع كتل الدقائق المكونة لها .



فمثلا كتلة نواة الهيليوم ^4_2He هو $m\left({}^{4}_{2}He\right) = 6,6447.10^{-27} kg$ أما مجموع كتل نوياتها فيساوي

$$2m_p + 2m_n = 2 \times 1,6726.10^{-27} + 2 \times 1,6750.10^{-27} = 6,6952.10^{-27} kg$$

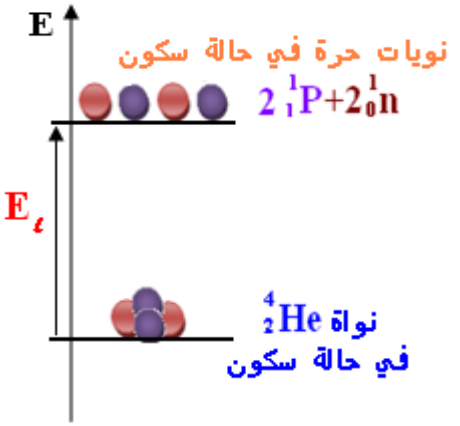
نستخلص إذن أن كتلة نواة الهيليوم أصغر من مجموع كتل نوياتها .

نسمي النقص الكتلي Δm لنواة رمزها ^A_ZX هو الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة $\Delta m = [Zm_p + (A-Z)m_n] - m$ مع $\Delta m > 0$ و m كتلة النواة

مثال : النقص الكتلي لنواة الهيليوم هو :

$$\Delta m = 6,6952.10^{-27} - 6,6447.10^{-27} = 5,0520.10^{-29} kg$$

2-2- طاقة الربط :



تتماسك النواة نظرا لوجود قوى التأثيرات البينية القوية ، و لفصل نوياتها يجب إعطائها طاقة تسمى **طاقة الربط** .

طاقة الربط E_l لنواة هي الطاقة التي يجب إعطائها للنواة ، في حالة سكون ، لفصل نوياتها وتبقى في حالة سكون :

$$E_l = \Delta m.c^2 = \left[Zm_p + (A-Z)m_n - m({}_Z^AX)\right].c^2$$

مع Δm النقص الكتلى

مثال : طاقة الربط بالنسبة لنواة الهيليوم هو :

$$E_l = \Delta m.c^2 = 5,0520.10^{-29} \times (3.10^8)^2 = 4,55.10^{-12} J$$

$$E_l = \frac{4,55.10^{-12}}{1,6.10^{-19}} = 2,84.10^7 eV = 28,4 MeV$$

2-3- طاقة الربط بالنسبة لنوية :

تعرف ξ طاقة الربط بالنسبة لنوية بالعلاقة : $\xi = \frac{E_l}{A}$ حيث E_l طاقة الربط للنواة و A عدد النويات

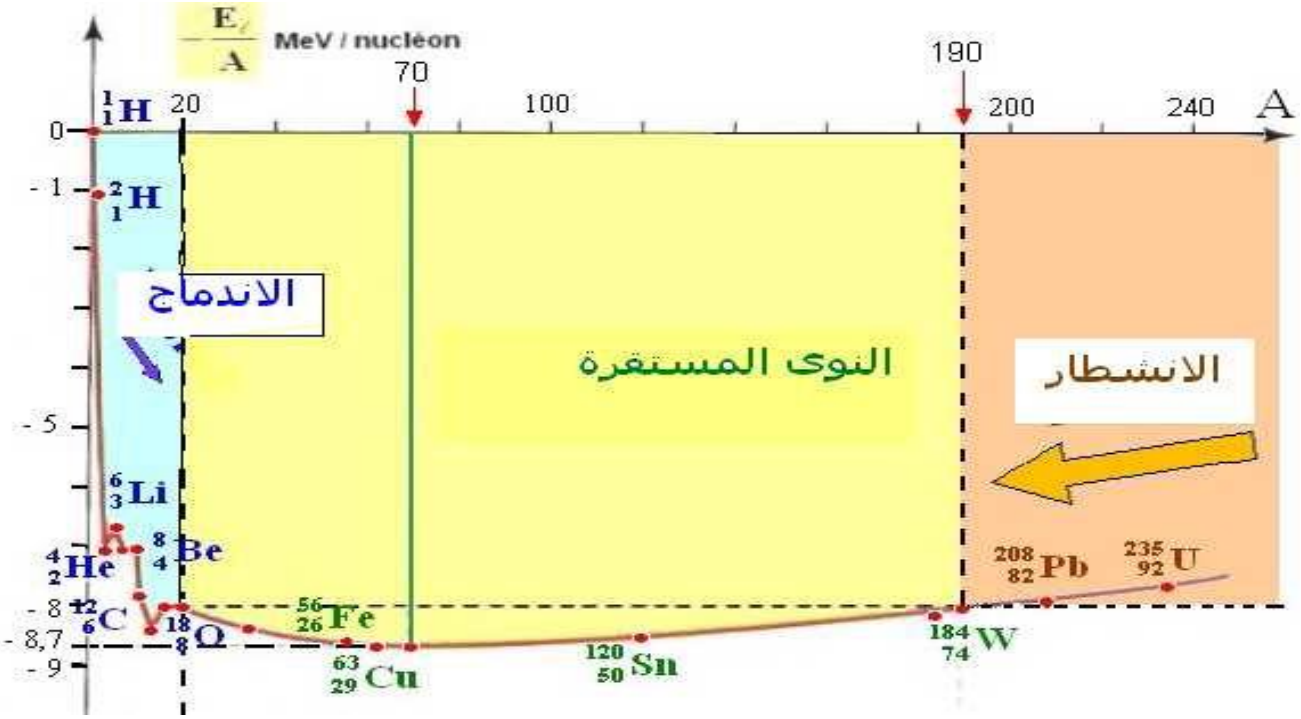
وحدة ξ هي $MeV/nucléon$

كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة ، كلما كانت النواة أكثر استقرارا .

مثال : طاقة الربط بالنسبة لنوية لنواة الهيليوم هو :

$$\xi({}_2^4He) = \frac{E_l}{4} = \frac{28,4}{4} = 7,1 MeV/nucléon$$

2-4- منحنى أسطون :



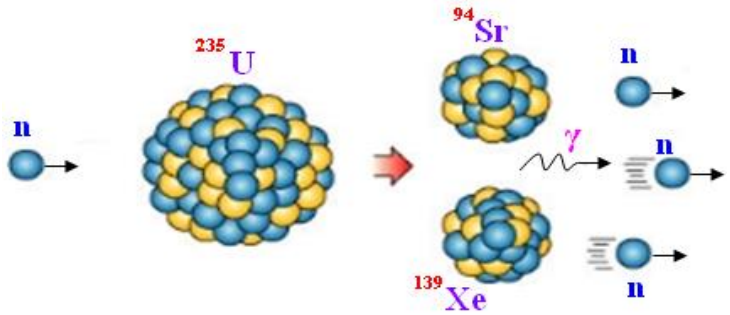
يمكن مقارنة استقرار مختلف النوى وذلك بخط منحنى $(\xi-)$ بدلالة A (**منحنى أسطون**) .
انطلاقا من المنحنى نلاحظ بالنسبة لـ :

- $20 < A < 195$: نلاحظ على المنحنى قيما دنيا لـ $(\xi-)$ ، تقارب قيمتها المطلقة $8MeV/nucléon$. وتضم هذه المنطقة النوى **الأكثر استقرارا** .
- $A < 20$ و $A > 195$: نلاحظ أن $(\xi-)$ ضعيفة بالنسبة لهذه النوى ، وهذا ما يؤكد أنها **غير مستقرة** بحيث يمكنها أن تتحول إلى نوى مستقرة عن طريق **الانشطار النووي** بالنسبة للنوى الثقيلة $(A > 195)$ أو عن طريق **الاندماج النووي** بالنسبة للنوى الخفيفة $(A < 20)$.

3- الانشطار و الاندماج النوويان : (خاص بـ : ع.ف / ع.ر)

3-1- الانشطار النووي :

3-1-1- تعريف :

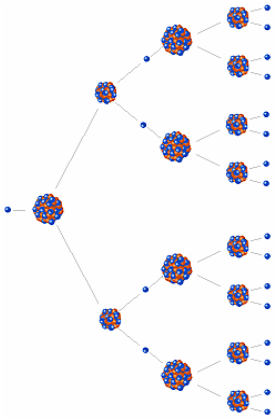


الانشطار النووي تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة شطورة (قابلة للانشطار) ، بعد التقافها لنوترون حراري إلى نواتين خفيفتين

مثال :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{55}Cs + ^{93}_{37}Rb + 3.^{1}_{0}n \quad \text{و} \quad ^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{139}_{54}Xe + 3.^{1}_{0}n + \gamma$$

3-1-2- تفاعل متسلسل :

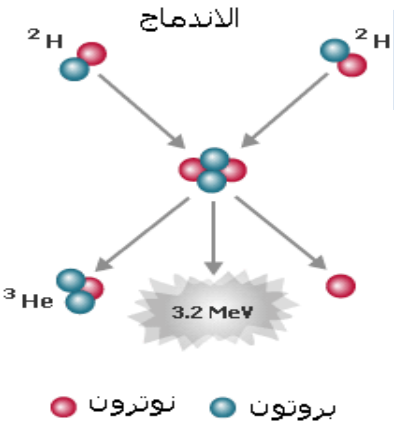


يمكن للنوترونات الناتجة عن الانشطار النووي أن :

- تفلت من وسط التفاعل .
- تلتقفها نوى غير شطورة .
- 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 A . أما في المفاعلات النووية فيتم التحكم في التفاعل المتسلسل بحيث تنتج الطاقة بكيفية منتظمة (عن طريق امتصاص النوترونات بواسطة قضبان من الكادميوم) .

3-2- الاندماج النووي :

3-2-1- تعريف :



الاندماج النووي تفاعل يتم فيه انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا

مثال :

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

$$^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{2}_{1}H + ^{0}_{1}e \quad (1) \quad \text{و} \quad ^{2}_{1}H + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He \quad (2)$$

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

3-2-2- شروط تحقيق الاندماج النووي :

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

4- الحصيلة الكتلية و الطاقية لتفاعل نووي :

4-1- الحالة العامة :

نعتبر المعادلة العامة لتفاعل نووي

$^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$ حيث X رمز نواة أو دقيقة .

الحصيلة الطاقية لهذا التفاعل هي

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

مع E_l طاقة الربط للنواة ΔE **طاقة التفاعل** وهي مقدار جبري

$\Delta E < 0$ يكون التفاعل **ناشرا للطاقة**

$\Delta E > 0$ يكون التفاعل **ماصا للطاقة**

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

حسب تعريف طاقة الربط

$$E_l(^A_Z X) = [Zm_p + (A-Z)m_n - m(^A_Z X)].c^2$$

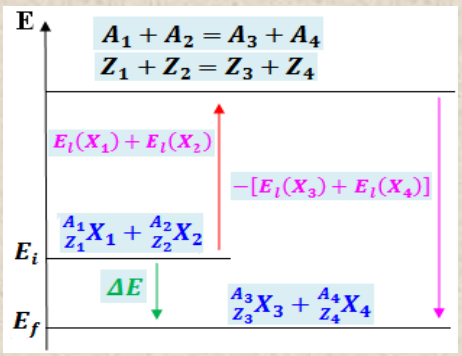
وباستعمال قانوني سودي $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

و $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$

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

أي $\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(\text{النواتج}) - m(\text{المتفاعلات})].c^2$

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



مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :

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 نويات

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

$\Delta E<0$: إجمالا ، المجموعة تحرر الطاقة أثناء هذا التفاعل النووي ، وبذلك تصبح أكثر استقرارا .

4-2- تطبيقات على الانشطار والاندماج النوويين : (خاص بـ : ع.ف / ع.ر)

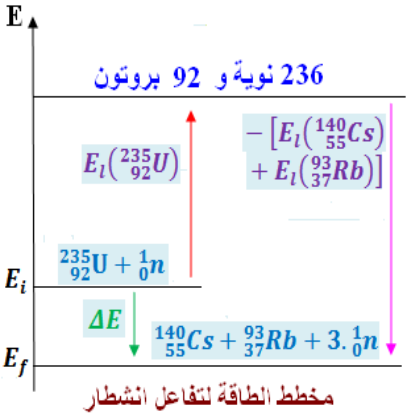
4-2-1- الانشطار النووي :

نعتبر معادلة الانشطار النووي التالية :

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

طاقة التفاعل $\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(\text{النواتج}) - m(\text{المتفاعلات})].c^2$

$$\Delta E = [m(^{140}_{55}Cs) + m(^{93}_{37}Rb) + 3m(^1_0n) - m(^{235}_{92}U) - m(^1_0n)].c^2$$



مخطط الطاقة لتفاعل انشطار

$^{235}_{92}\text{U}$	$^{140}_{55}Cs$	$^{93}_{37}Rb$	$^{1}_{0}n$
234,99346	139,88711	92,90174	1,00866
كتل النوى المتدخلة في تفاعل الانشطار (u)			

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

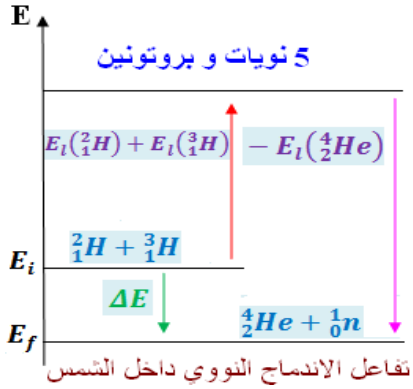
إذن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم 235 يحرر طاقة $\xi_l = -\Delta E = 174,46MeV$

4-2-2- الاندماج النووي :

نعتبر معادلة الاندماج التالية : $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$

طاقة التفاعل $\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(\text{النواتج}) - m(\text{المتفاعلات})].c^2$

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



تفاعل الاندماج النووي داخل الشمس

$^{2}_{1}\text{H}$	$^{3}_{1}H$	$^{4}_{2}He$	$^{1}_{0}n$
2,01355	3,01550	4,00150	1,00866
كتل النوى المتدخلة في تفاعل الانشطار (u)			

إذن $\Delta E = \Delta m.c^2 = -17,585MeV = -17,6\ MeV$

إذن تفاعل الاندماج يحرر طاقة $\xi_l = -\Delta E = 17,6\ MeV$

3-4- تطبيقات على التحولات النووية التلقائية :

تدل إشارة ΔE على أن المجموعة تكون إما **ناشرة للطاقة** (تحرر الطاقة للوسط الخارجي) : $\Delta E < 0$ ، أو **ماصة للطاقة** (تكتسب الطاقة من المحيط الخارجي) : $\Delta E > 0$.

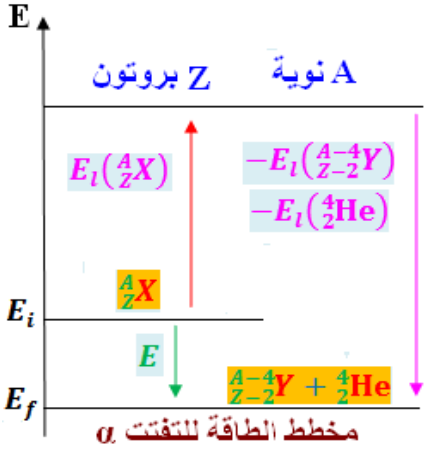
بالنسبة للتحولات النووية التلقائية ، تكون ΔE دائما سالبة $(\Delta E < 0)$ ونرمز لها بالحرف ξ_l ، وتسمى **الطاقة المتحررة** . وتظهر هذه الطاقة على شكل **طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقائق المنبعثة** .

1-3-4- النشاط الإشعاعي α :

معادلة التفتت α هي : $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α هي :

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



مثال : $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$. كتل النوى (u) هي :

$^{226}_{88}Ra$	$^{222}_{86}Rn$	$^{4}_{2}He$
225,9770	221,9702	4,0015

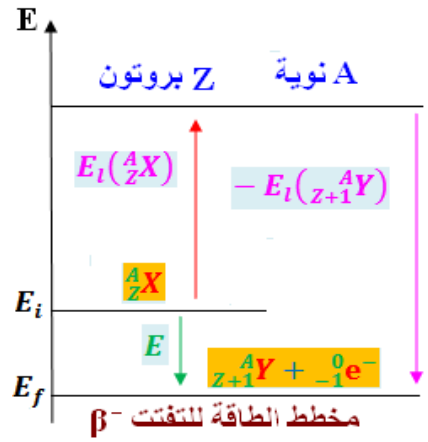
$$E = \left[m(^{4}_{2}\mathrm{He}) + m(^{222}_{86}Rn) - m(^{226}_{88}Ra)\right].c^2 = -4,94MeV$$

2-3-4- النشاط الإشعاعي β^- :

معادلة التفتت β^- هي : $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^-$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^- هي :

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



مثال : $^{60}_{2}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e^-$. كتل النوى (u) هي :

$^{60}_{27}\mathrm{Co}$	$^{60}_{28}Ni$	$^{0}_{-1}e$
59,9190	59,915	$5,49.10^{-4}$

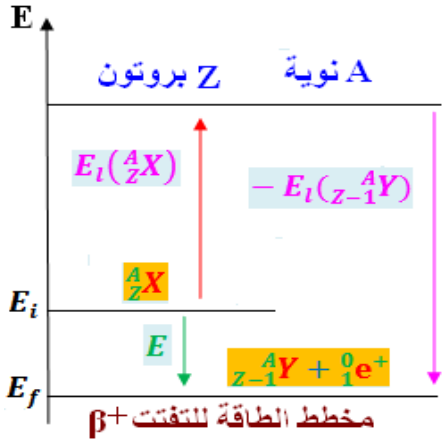
$$E = \left[m(^{0}_{-1}\mathrm{e}) + m(^{60}_{28}Ni) - m(^{60}_{27}Co)\right].c^2 = -2,84MeV$$

3-3-4- النشاط الإشعاعي β^+ :

معادلة التفتت β^+ هي : $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e^+$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^+ هي :

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



مثال : $^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{1}e$. كتل النوى (u) هي :

$^{13}_{6}\mathrm{C}$	$^{13}_{7}N$	$^{0}_{1}e$
13,000062	13,001898	$5,49.10^{-4}$

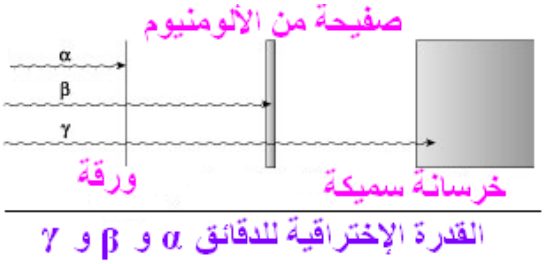
$$E = \left[m(^{0}_{1}\mathrm{e}) + m(^{13}_{6}C) - m(^{13}_{7}N)\right].c^2 = -1,999\ MeV$$

5- استعمالات وأخطار النشاط الإشعاعي :

5-1- المفعول البيولوجي للإشعاعات :

عند اختراقها للمادة تحدث الدقائق ، الناتجة عن الأنشطة الإشعاعية وكذلك الإشعاع γ ، تأينا في مسارها ويمكنها بذلك أن تحدث تفاعلات كيميائية في جزيئة المادة الحية . وقد تتسبب في طفرة وراثية إذا ما غيرت بنية جزيئة ADN . ويرتبط تأثير الإشعاعات على الأنسجة الحية بـ :

- عدد الدقائق التي يتلقاها النسيج الحي ، وهذا يتعلق بنشاط العينة وبعها ومدة التعرض للإشعاع .
- الطاقة التي تودعها في النسيج .
- نوع النشاط الإشعاعي (α ، β^- ، β^+ ، γ) .
- طبيعة النسيج الذي أصيب .



القدرة الإختراقية للدقائق α و β و γ

5-2- استعمالات النشاط الإشعاعي :

للطاقة النووية استعمالات متعددة وفي مجالات مختلفة ، منها :

- **الصناعة :** إنتاج الطاقة الكهربائية ، إنجاز اختبارات الجودة والكشف عن العيوب الصناعية و إنتاج أشباه الموصلات .....
- **الفلاحة :** مقاومة الآفات و الحشرات ، زيادة مدة تخزين المنتجات الزراعية ، انتقاء نوعيات معينة من البذور ، استنباط أنواع جديدة من المحاصيل ذات إنتاجية عالية .....
- **الطب :** معالجة الأورام السرطانية ، تعقيم الأدوات الطبية ، استعمال المواد الاستشفائية للتعرف على بعض الأمراض .....

5-3- أخطار النشاط الإشعاعي :

على غرار مصادر الطاقة جميعها ، للطاقة النووية أضرار يمكن إيجازها في :

- **الإنفجارات النووية** ذات القوة التدميرية الكبيرة التي **تنتج إشعاعات بكميات كبيرة** ، تؤدي إلى وفاة الكائنات الحية أو إصابتها بسرطانات أو حروق و **إلحاق أضرار جسيمة بالبيئة** ولمدة طويلة كما حدث عند تفجير أولى القنابل النووية **بهيروشيما و ناكازاكي** باليابان سنة 1945 .
- **المفاعلات النووية** تتعرض لبعض الأعطال التي تؤدي إلى **تسرب الوقود النووي المشع** كما حدث في **تشرنوبيل بأوكرانيا** سنة 1986 . و**تخليفها لنفايات مشعة** تطرح مشكل التخلص منها .