

# النوى ، الكتلة والطاقة

## Noyau ,masse et énergie

### I \_ التكافؤ "كتلة \_ طاقة"

#### 1 \_ علاقة إنشتاين

توصل العالم إنشتاين من خلال الميكانيك النسبوية الخاصة سنة 1905م إلى أن هناك تكافؤ بين الكتلة والطاقة .

تمتلك كل مجموعة كتلتها  $m$  ، في حالة سكون ، طاقة  $E$  تسمى طاقة الكتلة تعبيرها هو :

$$E = m.c^2$$

$c \approx 3.10^8 m/s$  سرعة الضوء

$m$  كتلة المجموعة نعبر عنها ب  $kg$

$E$  طاقة المجموعة نعبر عنها بالجول .

عندما تتغير كتلة المجموعة ب  $\Delta m$  خلال تحول ما ، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو :

$$\Delta E = \Delta m.c^2$$

$\Delta m < 0$  ( تنقص كتلة مجموعة في سكون ) ، طاقتها الكتلية تنقص كذلك  $\Delta E < 0$  : **تحرر المجموعة في هذه الحالة طاقة تمنحها للوسط الخارجي . ( $Q > 0$ )**

$\Delta m > 0$  ( تزداد كتلة مجموعة في سكون ) ، طاقتها الكتلية تزداد كذلك  $\Delta E > 0$  : **تكتسب المجموعة في هذه الحالة طاقة من الوسط الخارجي . ( $Q < 0$ )**

#### 2 \_ وحدة الكتلة والطاقة

##### أ \_ وحدة الكتلة الذرية

في الفيزياء النووية ، تكون كتل النوى والدقائق صغيرة جدا ، لذا يعبر عنها بوحدة ملائمة تسمى وحدة الكتلة الذرية ونرمز لها ب  $u$

**$1u$  يساوي  $\frac{1}{12}$  من كتلة ذرة الكربون 12**

**نعلم أن كتلة مول واحد من ذرات الكربون 12 تساوي  $12.10^{-3}kg$  ويحتوي 1 مول على  $N=6,02.10^{23}$  ذرة أي أن :**

$$1u = \frac{1}{12} \frac{12.10^{-3}}{6.03.10^{23}} = 1,66.10^{-27} kg \text{ وبالتالي } 1u = 1,66.10^{-27}kg$$

مثال : كتلة البروتون

$$m_p = 1,6725.10^{-27} kg$$

$$m_p = \frac{1,6725.10^{-27}}{1,66.10^{-27}} = 1,0073u$$

##### ب \_ وحدة الطاقة : الإلكترون \_ فولط

في الفيزياء النووية الجول وحدة غير ملائمة للطاقة ، لذلك يفضل استعمال الإلكترون \_ فولط ومضاعفاته كالميغا إلكترون \_ فولط (MeV) .

$$1eV = 1,602177 \times 10^{-19} J$$

$$1MeV = 10^6 eV = 1,602177 \times 10^{-13} J$$

##### ج \_ الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية $u$ .

حسب علاقة انشتاين الطاقة التي تكافئ  $1u$  هي :

$$E = 1,66054 \times (299792458)^2 = 1492,42 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{1492,42 \times 10^{-13}}{1,602177 \times 10^{-13}} = 931 \text{ MeV}$$

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

مثال : حساب طاقة الإلكترون :  $E=mc^2$  بحيث أن  $m_e=9,1.10^{-31} \text{ kg}$  و  $E=9,1.10^{-31}.9.10^{16} \text{ J}=81,9.10^{-15} \text{ J}$  و  $1 \text{ eV}=1,6.10^{-19} \text{ J}$  فإن  $E=0,512 \text{ MeV}$  نستنتج أن كتلة الإلكترون بوحدة الطاقة الكتلية :  $m_e=0,512 \text{ MeV}/c^2$ .

## II \_ طاقة الربط Energie de liaison

### 2 \_ 1 النقص الكتلي .

تبين قياسات دقيقة أنجزت بواسطة معيار الكتلة أن كتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع كتل الدقائق التي تكونها .

$$m({}_1^2\text{H}) = 2,0109u : \text{مثال : كتلة نواة الدوتريوم } {}_1^2\text{H}$$

الدقائق المكونة لنواة الدوتريوم  $Z=1$  و  $N=1$

$$m_p + m_n = 2,0199u : \text{مجموع كتل الدقائق}$$

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m({}_1^2\text{H})$$

$$= 0,0050u$$

وبالتالي

نسمي  $\Delta m$  بالنقص الكتلي للنواة .

بصفة عامة : **نسمي النقص الكتلي لنواة  $\Delta m$  الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة وهو مقدار دائما موجب .**

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m({}_Z^AX)$$

### 2 \_ 2 طاقة الربط

النواة مكونة من بروتونات ذات شحنة موجبة و  $n$  نوترونات ذات شحنة منعدمة . يفسر تماسك النواة بوجود قوى نووية ذات شدة كبيرة تسمى بقوى التأثيرات البينية القوية . لفصل نويات النواة يجب إعطاؤها طاقة ، تسمى بطاقة الربط  $E_\ell$  .

وحسب علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة لأنشتاين فإن النقص الكتلي لنواة يكافئ الطاقة اللازمة إعطاؤها لفصل نوياتها :

$$Zm_p + (A-Z)m_n = m({}_Z^AX) + E_\ell$$

$$E_\ell = \Delta m.c^2 = (Zm_p + (A-Z)m_n - m({}_Z^AX)).c^2$$

### 2 \_ 3 طاقة الربط بالنسبة لنوية

$$\mathcal{E} = \frac{E_\ell}{A}$$

وحدة  $\mathcal{E}$  هي Mev/nucleon

وهي تمثل طاقة الربط المتوسطة لنوية .

• للحكم على مدى استقرار نوية يجب اعتبار طاقة الربط بالنسبة للنوية .

• تكون نوية أكثر استقرارا كلما كانت طاقة الربط بالنسبة للنوية كبيرة .

**تمرين تطبيقي :**

نعتبر نوية الراديوم  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$

أحسب طاقة الربط لنوية الراديوم واستنتج طاقة الربط بالنسبة لكل نوية .

نعطي :  $m(\text{Ra}) = 225,977u$  و  $m_p = 1,00728u$  و  $m_n = 1,00867u$  و  $1u = 1,66.10^{-27} \text{ kg}$

$$c = 3.10^8 \text{ m}/c^2$$

**الجواب:** طاقة الربط اللازمة هي الطاقة اللازمة لفصل نويات موجودة في حالة سكون .

$$E_\ell = \Delta m \cdot c^2 = [(Zm_p + Nm_n) - m({}_Z^A X)]c^2$$

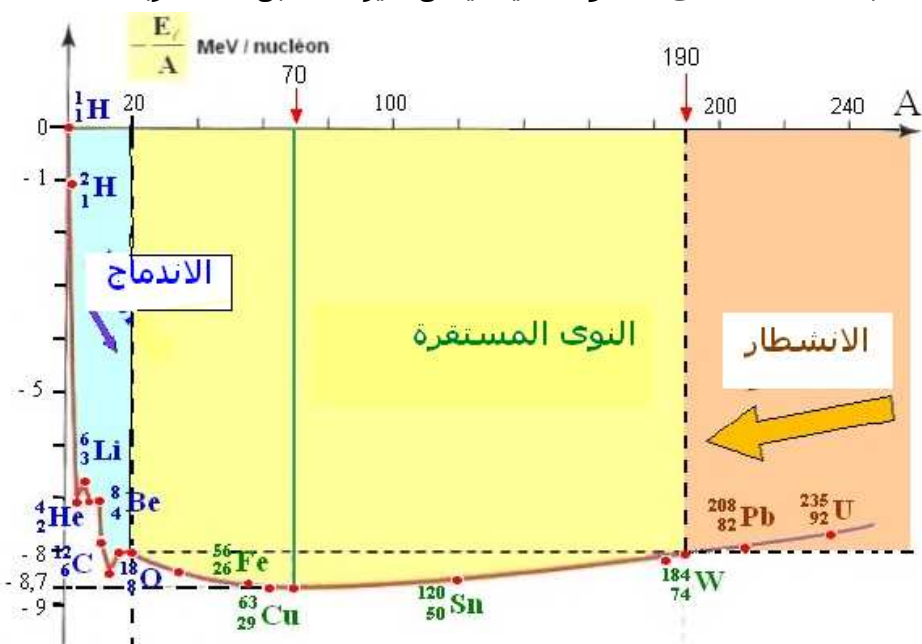
و  $Z=88$  و  $N=226$  ومنه فإن

$$E_\ell = (88 \cdot 1,00728 + 138 \cdot 1,00867 - 225,977) \cdot 9.10^{16} = 2,779.10^{-10} \text{ J} = 1736,90 \text{ MeV}$$

$$\mathcal{E} = \frac{1736,90}{226} = 7,68 \text{ MeV} / c^2 \quad \text{وبالتالي} \quad \mathcal{E} = \frac{E_\ell}{A}$$

## 2 - 4 منحنى أسطون

يمكن مقارنة استقرار مختلف النويدات باستعمال منحنى أسطون ، حيث يمثل تغيرات مقابل طاقة الربط



بالنسبة لنويده  $\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$  بدلالة

عدد النويات  $A$  . أنظر الشكل .

من خلال المنحنى نلاحظ :

•  $20 < A < 195$  :

$\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$  لها قيم دنيا تقارب

قيمها المطلقة  $8 \text{ MeV}/c^2$  . هذه

المنطقة تظم النوى الأكثر

استقرارا ( مثال الحديد Fe هو

النوى الأكثر استقرارا لذا يوجد

بوفرة في الطبيعة .

•  $A > 195$  و  $A < 20$  :

$\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$  كبيرة أي أن  $\left(\frac{E_\ell}{A}\right)$

صغيرة جدا وبالتالي فطاقة الربط بالنسبة لنوية ضعيفة الشيء الذي يبين أن هذه النوى غير مستقرة

يمكنها أن تتحول إلى نوى أكثر استقرارا .

يمكن لهذه أن تتحول وفق نوعين من التفاعلات النووية :

--  $A > 19$  - النوى الثقيلة غير المستقرة تنشط إلى نواتين خفيفتين . وتسمى هذه الظاهرة

**الانشطار النووي .**

-  $A < 20$  - النوى الخفيفة تتحد فيما بينها لتعطي نواة أكثر ثقلا وتسمى هذه الظاهرة **الاندماج**

**النووي .**

**ملحوظة .** الاندماج والانشطار تفاعلات محرّضان .

## III - الانشطار والاندماج النوويان Fusion et fission nucléaire

### 1 - الانشطار النووي :

يمكن لنواة ثقيلة كالأورانيوم أو البلوتونيوم مثلا أن تنقسم ، بعد

قذفها بـ نوترون بطيء ( طاقته الحركية أقل من  $0,1 \text{ MeV}$  ) إلى

نواتين خفيفتين . يسمى هذا التحول الانشطار النووي ، وتسمى

النوى الثقيلة النوى **الاشطورية fissile** والنوترون القديفة :

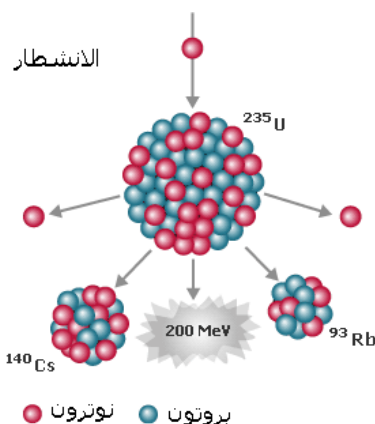
**النوترون الحراري .**

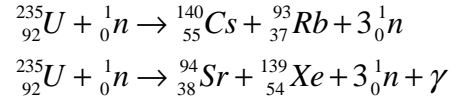
**أ - تعريف**

الانشطار النووي تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة شطورية ،

بعد التقافها لنوترون حراري إلى نواتين خفيفتين .

أمثلة :





### ب - تفاعل متسلسل

يمكن لنوترونات الناتجة عن الانشطار النووي أن :

- تفلت من وسط التفاعل .

- أو تلتقها نوى غير شظوية .

أو 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 . ويمكن التحكم فيه وضبطه وهذا ما يحدث في المفاعلات النووية حيث ينتج الطاقة بكيفية منتظمة .

ويتحكم في التفاعل المتسلسل في المفاعلات النووية عن طريق امتصاص النوترونات بواسطة قضبان من الكاديوم .

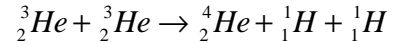
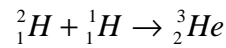
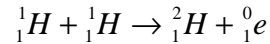
### 2 - الاندماج النووي .

#### أ - تعريف

الاندماج النووي تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا .

أمثلة : تقع تفاعلات الاندماج داخل الشمس حيث يتم خلالها تكون الهيليوم

انطلاقا من الهيدروجين ، وفق ثلاث مراحل :



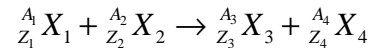
#### ب - شروط تحقيق الاندماج النووي

لا يتحقق الاندماج النووي إلا إذا كان للنواتين الخفيفتين طاقة تمكنها من التغلب على قوى التأثيرات البينية التنافرية . ويتطلب توفير هذه الطاقة درجة حرارة عالية . ولهذا السبب ينعت الاندماج بال**تفاعل النووي الحراري** .

## VI - الحصيلة الكتلية والطاقة لتفاعل نووي .

### 1 - الحالة العامة :

نعتبر تفاعلا نوويا معبرا عنه بالمعادلة التالية :



$X_i$  تدل على نوى عناصر كيميائية أو دقائق .

الحصيلة الطاقة المقرونة بهذا لتفاعل هي :

$$[E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)] = [E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)] + \Delta E$$

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

حيث  $E_\ell(X_i)$  طاقة الربط للنواة أو الدقيقة  $X_i$  . و  $\Delta E$  طاقة

التفاعل .

حسب تعبير طاقة الربط  $E_\ell$  لدينا :

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

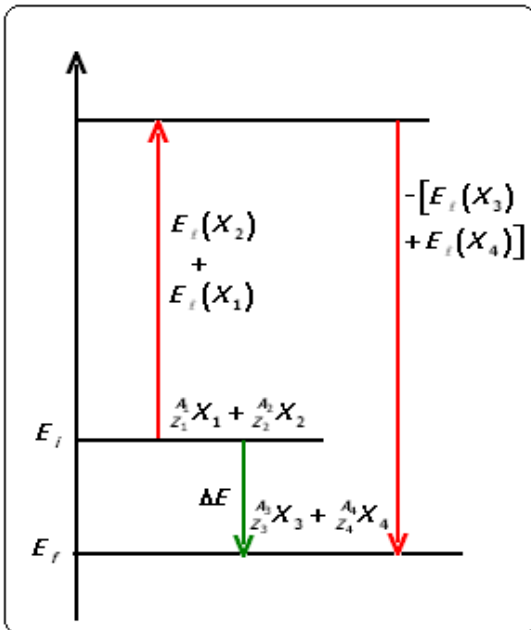
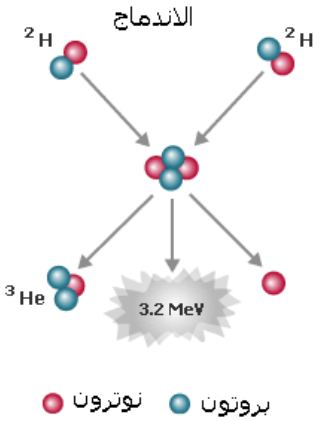
$$\Delta E = [m(X_3) + m(X_4) - m(X_1) - m(X_2)].c^2$$

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(\text{produit}) - m(\text{reactifs})].c^2$$

### ملحوظة : مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :

$E_i$  : الطاقة البدئية للمجموعة

$E_f$  : الطاقة النهائية للمجموعة .

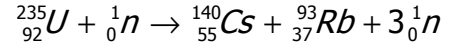


.  $E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)$  الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين .  
 $-[E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)]$  الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكون النواتين  $X_3$  و  $X_4$  .  
 $\Delta E$  الطاقة الكلية لهذا التفاعل النووي وبذلك تصبح أكثر استقرارا .  
 ملحوظة : الطاقة المحررة خلال تفاعل ناشر للطاقة هي  $Q = -\Delta E > 0$

## 2 - تطبيقات على الانشطار والاندماج النوويين

### أ - الانشطار النووي :

نعتبر معادلة الانشطار النووي التالية :



نعطي كتل النوى المتدخلة في هذا التفاعل النووي .

${}_{92}^{235}\text{U}$	${}_{55}^{140}\text{Cs}$	${}_{37}^{93}\text{Rb}$	${}_0^1\text{n}$
234,99346 u	139,88711 u	92,90174 u	1,00866 u

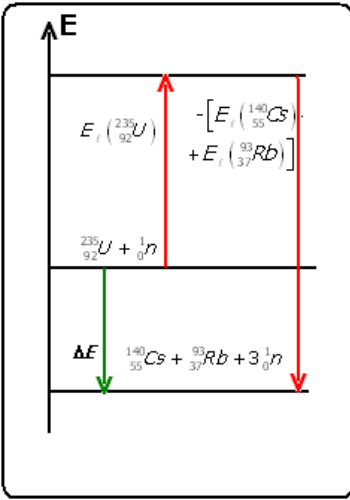
أحسب الطاقة المحررة من طرف نواة واحدة من الأورانيوم .

لدينا حسب تعبير تغير الطاقة :  $\Delta E = \Delta m.c^2$   
 بحيث أن

$$\begin{aligned}\Delta m &= m_f - m_i \\ &= [m({}_{55}^{140}\text{Cs}) + m({}_{37}^{93}\text{Rb}) + 3m({}_0^1\text{n})] - [m({}_{92}^{235}\text{U}) + m({}_0^1\text{n})] \\ &= [m({}_{55}^{140}\text{Cs}) + m({}_{37}^{93}\text{Rb}) + 2m({}_0^1\text{n}) - m({}_{92}^{235}\text{U})] \\ &= -0,18729\text{u} = -3,1100 \times 10^{-28} \text{kg} \\ \Delta E &= \Delta m.c^2 = -2,7995 \times 10^{-11} \text{J} = -174,699 \text{MeV}\end{aligned}$$

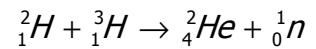
أي أن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم تحرر طاقة  $Q = -\Delta E$  تساوي  
 . 174,699MeV

مخطط الطاقة لتفاعل الانشطار : أنظر الشكل



### ب - الاندماج النووي

نعتبر تفاعل الاندماج التالي :



$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta m.c^2 \\ \Delta m &= m_f - m_i = [m({}_2^4\text{He}) + m({}_0^1\text{n})] - [m({}_1^2\text{H}) + m({}_1^3\text{H})] \\ &= -0,18729\text{u} = -3,1100 \times 10^{-28} \text{kg} \\ \Delta E &= \Delta m.c^2 \approx -17,585 \text{MeV}\end{aligned}$$

${}_1^2\text{H}$	${}_1^3\text{H}$	${}_2^4\text{He}$	${}_0^1\text{n}$
2,01355	3,01550	4,00150	1,00866

تفاعل الاندماج يحرق طاقة تقارب 18MeV ، بينما تفاعل الانشطار يحرق طاقة تقارب 200MeV تقريباً .  
 فالنسبة لعدد النويات بالنسبة للاندماج النووي 5 نويات وبالنسبة للانشطار النووي 236 نوية أي أنه  
 بالنسبة لنوية واحدة الطاقة المحررة بالاندماج أكبر بخمس مرات  
 (سلسلة التمارين 2)

### 3 - تطبيقات على التحولات النووية التلقائية .

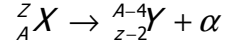
ملحوظة مهمة :

$\Delta E < 0$  تكون المجموعة ناشرة للطاقة أي أنها تحرر الطاقة يكتسبها المحيط الخارجي ( $Q = -\Delta E > 0$ ).

$\Delta E > 0$  تكون المجموعة ماصة للطاقة (تكتسب طاقة من المحيط الخارجي ( $Q = \Delta E < 0$ ))  
بالنسبة للتفاعلات النووية التلقائية تكون دائما  $\Delta E < 0$  ونرمز لها بالحرف E وتظهر هذه الطاقة على شكل طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقائق المنبعثة خلال التفتت .

### ا - النشاط الإشعاعي $\alpha$

معادلة التفتت  $\alpha$  هي :

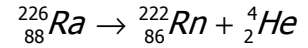
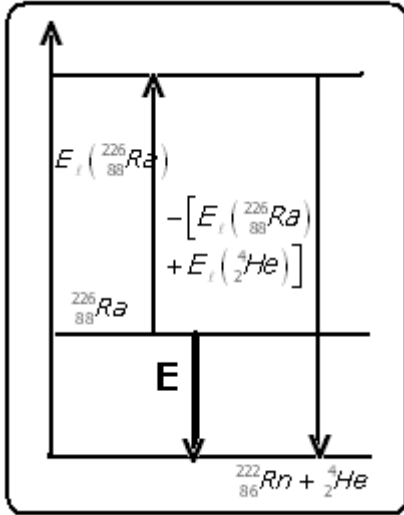


الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\alpha$  :

$$E = [m(\alpha) + m({}^{A-4}_{Z-2} Y) - m({}^Z_A X)].c^2$$

تطبيق : أحسب الطاقة الناتجة عن تفتت نواة واحدة من الراديوم 226 . نواة الراديوم إشعاعية النشاط  $\alpha$  نعطي :

${}^{226}_{88} Ra$	${}^{222}_{86} Rn$	${}^4_2 He$
225,977u	221,9702	4,0015



ننجز الحصلة الطاقة لهذا التفاعل :

$$E = [m({}^{222}_{86} Rn) + m({}^4_2 He) - m({}^{226}_{88} Ra)].c^2$$

$$= [-5,3 \cdot 10^{-3} u].c^2$$

نعلم أن  $1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$  وبالتالي فإن :

$$E = -5,3 \cdot 10^{-3} \times 931,6 \frac{\text{MeV}}{c^2} .c^2 = -4,94 \text{ MeV}$$

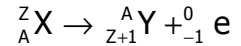
وبالتالي الطاقة المحررة عن هذا التفاعل هي :

$$Q = -E = E_c(\alpha) = 4,94 \text{ MeV}$$

تكتسبها على الخصوص الدقيقة  $\alpha$  .

### ب - النشاط الإشعاعي $\beta^-$

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي  $\beta^-$

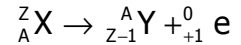


الحصلة الطاقة للنشاط الإشعاعي  $\beta^-$  :

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

### ج - النشاط الإشعاعي $\beta^+$

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي  $\beta^+$



الحصلة الطاقة للنشاط الإشعاعي :

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

ملحوظة :

تتحول الطاقة المحررة خلال التفاعلات النووية إلى طاقة حركية للنوى والدقائق الناتجة عن هذا التحول وكذلك إلى طاقة كهرومغناطيسية للإشعاعات  $\gamma$  .

$$Q = -\Delta E = \sum E_c({}^A_Z Y)$$

${}^A_ZY$  : النوى والدقائق الناتجة عن التحول

## V \_ التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي .

للإشعاعات النووية تأثير على جسم الإنسان وذلك حسب الكمية التي يمتصها الجسم وبطبيعة الأشعة

- الإشعاعات  $\alpha$  الجلد .
  - الإشعاعات  $\beta$  أكثر نفاذية من  $\alpha$  ، ويلزم عدة مليمترات لإيقافها . تستعمل هذه الإشعاعات لمعالجة الخلايا السرطانية .
  - الإشعاعات  $\gamma$  نافذة بقدر كبير ، ولإيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص ، وتستعمل في تشخيص الأمراض بالصور .
- تستعمل الإشعاعات النووية في الطب بكميات ضئيلة جدا كعنصر لاستشفاء ولتشخيص الأمراض أو لمعالجتها .
- كيف تؤثر الإشعاعات النووية على الإنسان ؟
- تتفاعل الإشعاعات النووية ذات الطاقة العالية مع المادة المكونة لجسم الإنسان ، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة بعض التشوهات بيوكيميائية .