

## النوى والكتلة والطاقة Noyau , masse Et energie

### I - علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة

#### 1 - علاقة انشتايern

لجعل نظريات الميكانيك ونظريات الموجات الضوئية أكثر تماساً وضع الفيزيائي ألبير إنشتاين سنة 1905 م نظرية تظهر أن هناك تكافؤ بين الكتلة والطاقة .

$$E = m.c^2$$

E بالجول (J) و m ب kg و c سرعة انتشار الضوء في الفراغ نعبر عنها ب (m/s) .

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

عندما تتغير الكتلة ب  $\Delta m$  خلال تحول نووي ، يكون تغير الطاقة الكتالية هو  $\Delta E$  حيث :  $\Delta E = \Delta m.c^2$    
 $\Delta m < 0$  تغير الكتلة سالب وبالتالي فإن  $\Delta E$  تكون سالبة كذلك : **تحرر المجموعة في هذه الحالة طاقة تمنحها للوسط الخارجي ،  $Q > 0$**  .

$\Delta m > 0$  تغير الكتلة موجب وبالتالي فإن  $\Delta E$  تكون موجبة كذلك : **تكتسب المجموعة في هذه الحالة طاقة من للوسط الخارجي ،  $Q < 0$**  .

#### 2 - وحدة الكتلة والطاقة

##### 1 - وحدة الكتلة الذرية

في الفيزياء النووية نعبر عن الكتلة بوحدة تسمى وحدة الكتلة الذرية ونرمز لها ب u . ونعرفها كالتالي :

**1u يساوي 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  $6.02 \cdot 10^{23}$  ذرة أي أن

$$1u = \frac{1}{12} \cdot \frac{12.10^{-3}}{6.03 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

مثال : حساب كثافة البروتون بوحدة الكتلة الذرية :

$$m_p = 1,6725 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_p = \frac{1,6725 \cdot 10^{-27}}{1,66 \cdot 10^{-27}} = 1,0073u$$

#### ب- وحدة الطاقة : الإلكترون - فولط

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

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

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

#### ج- الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u .

حسب علاقة انشتاين الطاقة التي تكافئ 1u هي :

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

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

$$E = m.c^2 \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} \Rightarrow 1u = 931,5 \text{ MeV} / c^2$$

مثال : حساب طاقة الإلكترون :

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad E = mc^2$$

$$E = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9,1 \cdot 10^{16} \text{ J} = 81,9 \cdot 10^{-15} \text{ J} \quad E = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1492,42 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

نستنتج أن كثافة الإلكترون بوحدة الطاقة الكتالية :  $m_e = 0,512 \text{ MeV} / c^2$

#### II - طاقة الربط : Energie de liaison

##### 1 - النقص الكتلي :

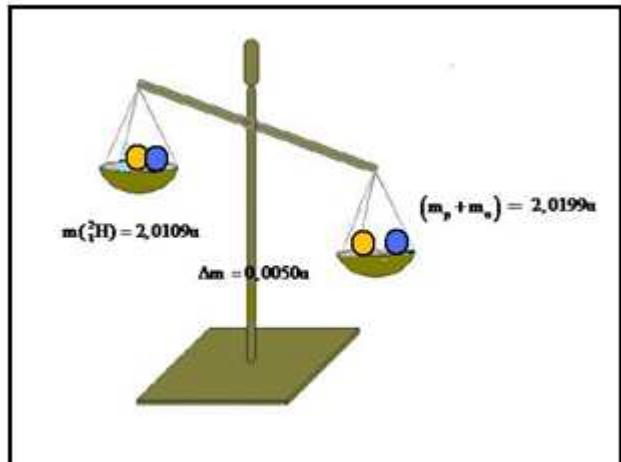
تبين قياسات دقيقة أنجزت بواسطة معيار الكثافة النواة تكون دائماً أقل من مجموع كتل الدوائر التي تكونها .

مثال : كثافة نواة الدوتوريوم  ${}^2_1H$  :  $m({}^2_1H) = 2,0109u$

مجموع الدوائر المكونة لنواة الدوتوريوم هو :  $N=1$  و  $Z=1$

مجموع كتل الدوائر :  $m_p + m_n = 2,0199u$

وبالتالي فإن



$$\Delta m = (m_p + m_n) - m(^2_1 H) = 2,0199 - 2,0109 = 0,0050u$$

نسمى  $\Delta m$  بالنقص الكتلي للنواة .

بصفة عامة : نسمى النقص الكتلي  $\Delta m$  لنواة ، الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة . وهو مقدار دائمًا موجب .

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m(^2_1 H)$$

## 2 \_ طاقة الربط

النواة مكونة من بروتونات ذات شحنة موجبة ونوترونات عديمة الشحنة .

يفسر تماسك النواة بوجود قوى لتأثيرات البيانية القوية .

لفصل نويات النواة يجب إعطاؤها طاقة . تسمى بطاقة الربط  $E_\ell$  .

حسب علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة فإن النقص الكتلي لنواة يكافي الطاقة اللازمة لإعطاؤها لفصل نوياتها :

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [(Zm_p + Nm_n) - m(^2_1 H)].c^2$$

## 3 \_ طاقة الربط بالنسبة لنوية :

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

وحدة  $\mathcal{E}$  هي : MeV/nucléon

وهي تمثل طاقة الربط المتوسطة لنوية .

للحكم على مدى استقرار نوية يجب اعتبار طاقة الربط بالنسبة لنوية .

تكون نوية أكثر استقرارا كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة .

### تمرين تطبيقي :

نعتبر نوية الراديوم :  $^{226}_{88} Ra$

أحسب طاقة الربط لنوية الراديوم واستنتج طاقة الربط بالنسبة لنوية .

نعطي :  $m_n = 1,00867u$   $m_p = 1,00728u$   $m(Ra) = 225,977u$  و  $c = 3 \cdot 10^8 m/s$  و  $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$

### الجواب :

طاقة الربط هي الطاقة اللازمة لفصل نويات النواة الموجودة في حالة سكون :

$$E_\ell = \Delta m.c^2 = [(88m_p + 138m_n) - m(^{226}_{88} Ra)].c^2$$

$$E_\ell = (88 \times 1,00728 + 138 \times 1,00867) \cdot 9 \cdot 10^{16} = 2,779 \cdot 10^{-10} J = 1736,90 MeV$$

$$\mathcal{E} = \frac{E_\ell}{A} \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{1736,90}{226} = 7,68 MeV / nucleon$$

## 4 \_ منحنى أسطون Aston

يمكن منحنى أسطون من مقارنة استقرار مختلف النويات ، حيث يمثل تغيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية  $\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$  بدلالة عدد النويات A . أنظر الشكل .

من خلال المنحنى نلاحظ :

-  $-\frac{E_\ell}{A} < 20 < A < 195$  دنيا حيث أن قيمتها المطلقة تقارب  $8 MeV/c^2$  . هذه المنطقة تضم النوى الأكثر استقرارا . مثال ،

الحديد  $^{56}_{26} Fe$  النواة الأكثر استقرارا لهذا نجده في الطبيعة بوفرة .

-  $A > 195$  و  $A < 20$  قيم  $\left(-\frac{E_\ell}{A}\right)$  كبيرة أي أن قيمتها المطلقة صغيرة جداً أي أن طاقة الربط بالنسبة لنوية ضعيفة الشيء

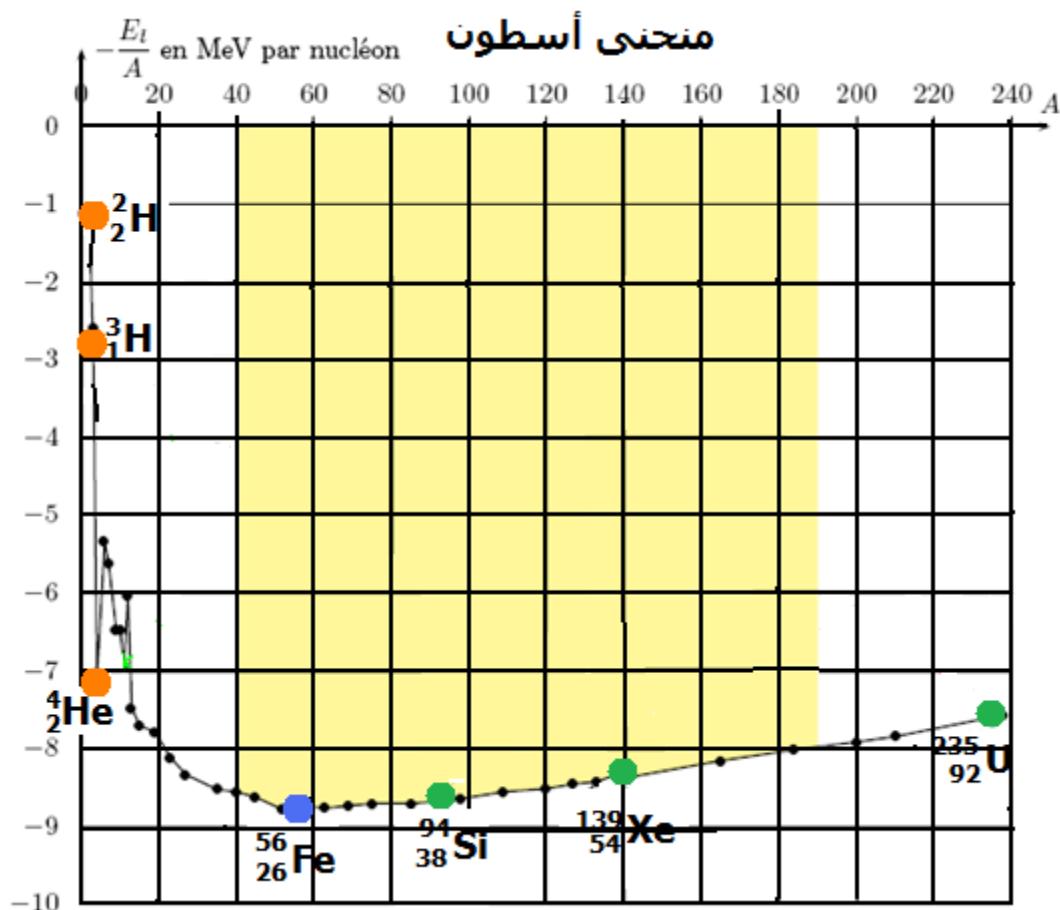
الذي يبين أن هذه النوى ستكون غير مستقرة وبالتالي ستكون لها إمكانية التحول إلى نوى أكثر استقرارا .

يمكن لهذه النوى أن تتحول وفق نوعين من التفاعلات النووية :

-  $A > 195$  النوى الثقيلة غير المستقرة تنسطر إلى نواتين خفيتين . وتسمى هذه **الظاهرة بالانشطار النووي** .

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

**ملحوظة** : الاندماج والانشطار تفاعلات نووية محضان .



### III – الانشطار والاندماج النووي

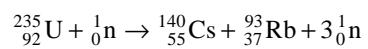
#### 1 – الانشطار النووي

##### 1 – 1 تعريف

يمكن لنوى ثقيلة كالاورانيوم أو البلوتونيوم مثلا أن تنشطر ، بعد قذفها بنوترون بطيء ( طاقة حركيته أقل من 0,1MeV ) إلى نوatin خفيتين . يسمى هذا التحول الانشطار النووي ، وتسمى النوى الثقيلة النوى الشطورة fissile والنوترن القذيفية :

النوترون الحراري .

مثال :



##### 1 – 2 تفاعل متسلسل

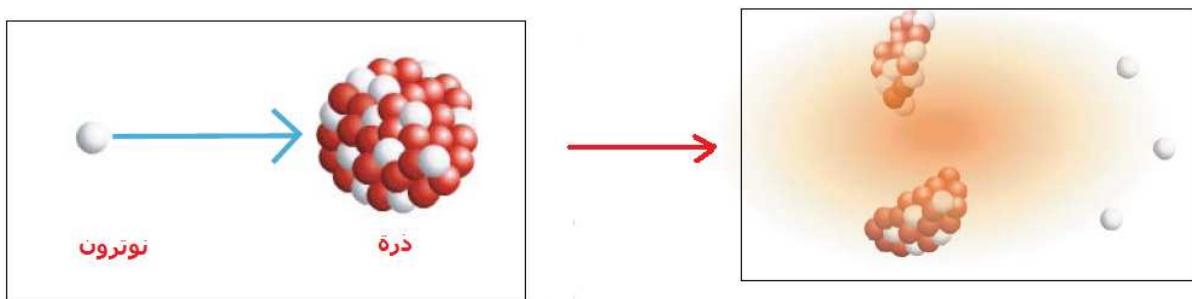
خلال الانشطار النووي ، يمكن للنوترونات الناتجة أن :

– تفلت من الوسط التفاعلي .

– أو تلقفها نوى غير شطورة ،

– أو تتسبيب في انشطار نوى أخرى ، في هذه الحالة تساهم في تفاعل متسلسل قد يتم بكيفية تفجيرية في حالة ما كان غير متحكم فيه ، وهذا ما يحدث في القنبلة الذرية . ويمكن التحكم فيه وضبطه وهذا ما يحدث في المفاعلات النووية حيث ينتج الطاقة بكيفية منتظمة .

### الإنشطار النووي La fission nucléaire

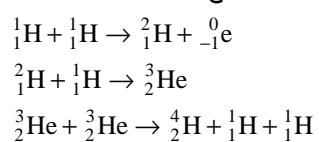


## 2 - الاندماج النووي

### 1 - تعريف

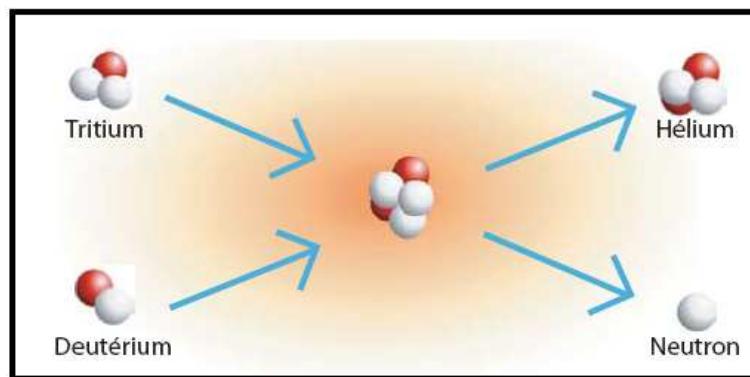
الاندماج النووي هو تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلًا.

مثال : تقع هذه التفاعلات داخل الشمس حيث يتم خلالها تكون نوای الهيليوم انطلاقاً من الهيدروجين وفق ثلاثة مراحل :



### 2 - شروط تحقيق الاندماج النووي

يجب أن تتوفر النوادين الخفيفتين على طاقة تمكنها من التغلب على قوى التأثيرات البنية التناافية . ويطلب توفير هذه الطاقة درجة حرارة عالية ولهذا السبب ينبع الاندماج النووي بالتفاعل الحراري .



### IV - الحصيلة الكتيلية والطاقة لتفاعل نووي .

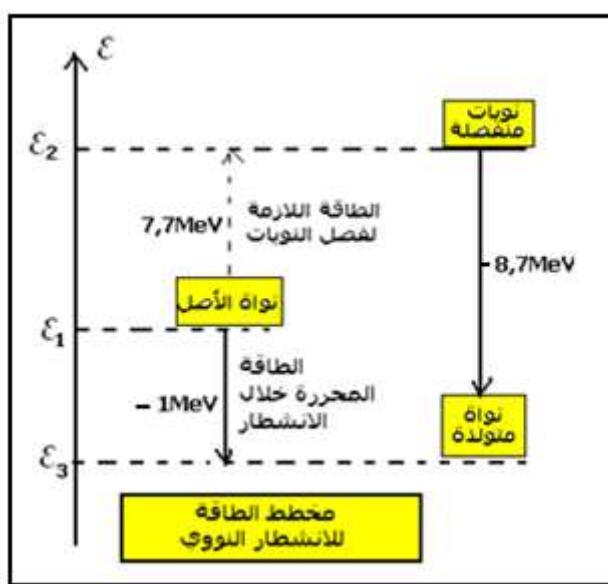
#### 1 - الحصيلة الطاقية لتفاعلات نووية محضة :

##### الحصيلة الطاقية للانشطار النووي

###### نشاط 1

باستغلال مخطط الطاقة 1 أجب على الأسئلة التالية :

- 1 - ما هي الطاقة بالنسبة لنواة التي يجب إعطاؤها لنواة ثقيلة لفصل نوياتها كالاورانيوم مثلا ؟
- 2 - ما هي الطاقة المحصلة أو الناتجة خلال تكون نوى خفيفة موجودة في المنطقة الدنوية وقريبة من مجال الاستقرار لمنحنى أسطون ، انطلاقاً من نويات منفصلة للنواة الثقيلة ؟
- 3 - أحسب الطاقة الناتجة خلال هذا التحول ؟



###### الجواب

1 - يبين مخطط الطاقة أنه للحصول على نوادين منفصلة انطلاقاً من نواة ثقيلة كالاورانيوم مثلاً يجب إعطاء للنواة الثقيلة طاقة بالنسبة لنواة تساوي  $7,7\text{MeV} +$  بالنسبة لكل نوادة .

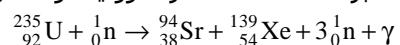
2 - إذا كانت النوى الناتجة أو المتولدة خفيفة وتوجد في المنطقة الدنوية لمنحنى أسطون وتحصل عليها انطلاقاً من نوادين المنفصلة السابقة فالطاقة الناتجة عن هذه العملية تساوي حسب المخطط  $8,7\text{MeV} -$  بالنسبة لنواة . وبالتالي فالطاقة المحررة خلال هذه العملية هي

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = -1\text{MeV}$$

3 – بالنسبة لنواة الأورانيوم والتي تحتوي على 235 نوية أي الطاقة الناتجة هي تقريبا  $\Delta E = 235 \times \Delta \mathcal{E} = -235 \text{ MeV}$  بالنسبة للوسط الخارجي فهو يكتسب طاقة  $\Delta E = +235 \text{ MeV}$  وهذا يعني أن نواة واحدة من الأورانيوم خلال الانشطار تحرر للوسط الخارجي طاقة تساوي تقريبا  $235 \text{ MeV}$ .

### الحصولة الطافية للانشطار النووي:

نعتبر معادلة الانشطار النووي لنواة الأورانيوم 235 التالية :



تغير الكتلة المصاحب لهذا التفاعل النووي هو :

$$\Delta m = m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}}$$

$$\Delta m = [m(\text{Sr}) + m(\text{Xe}) + m(n)] - [m(\text{U}) + 3m(n)] \quad m(\gamma) = 0$$

$$\Delta m = 93,89446 + 138,89194 + 1,00866 - 234,99332 - 3 \times 1,00866 = -0,18960\text{u}$$

$$\Delta m = -0,18960\text{u} = -0,18960 \times 1,66045 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = -3,1482 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = -3,1482 \cdot 10^{-28} \times 9 \cdot 10^{16}$$

$$\Delta E = -2,8334 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$\Delta E = \frac{-2,8334 \cdot 10^{-11}}{1,602177 \cdot 10^{-13}} = -176,8 \text{ MeV}$$

وهذا يبين أن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم 235 يحرر طاقة للوسط الخارجي  $Q = -\Delta E = 176,8 \text{ MeV}$

### 2 – الحصولة الطافية لاندماج نووي .

#### نشاط 2

باستغلال مخطط الطاقة 2 أجب على الأسئلة التالية :

1 – ما هي الطاقة بالنسبة لنوية التي يجب إعطاؤها لنواة خفيفة لفصل نوياتها كالدوتوريوم مثلا ؟

2 – ما هي الطاقة المحصلة أو الناتجة خلال تكون نوى أكثر ثقلا من النواة الأصل كالهيليوم مثلا والموجودة قريبا من مجال الاستقرار لمنحنى أسطون

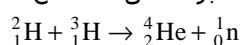
#### الجواب

1 – يبين مخطط الطاقة أنه للحصول على نويات منفصلة انطلاقا من خفيفة مثلًا يجب إعطاء للنواة الثقيلة طاقة بالنسبة لنوية من 1MeV إلى 3MeV بالنسبة لكل نوية .

2 – إذا كانت النوى الناتجة أو المتولدة أثقل من نوى الأصل وتوجد في المنطقة الدنوية لمنحنى أسطون قربة من مجال الاستقرار وتحصل عليها انطلاقا من النويات المنفصلة السابقة فالطاقة الناتجة عن هذه العملية تساوي حسب المخطط  $-7 \text{ MeV}$  – بالنسبة لنوية . وبالتالي فالطاقة المحررة خلال هذه التحول يكون هناك نقص كتلي وانتقال طافي مهم جدا .

### الحصولة الطافية لاندماج نووي :

نعتبر تفاعل الاندماج التالي :



تغير الكتلة المصاحب لهذا التحول النووي هو :

$$\Delta m = m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}} = [m(\text{He}) + m(n)] - [m(^2_1\text{H}) + m(^3_1\text{H})]$$

$$\Delta m = -0,18729\text{u} = -0,18729 \times 931,5 \text{ MeV} / c^2 = -17,585 \text{ MeV} / c^2$$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = -17,585 \text{ MeV}$$

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

#### ملحوظة :

تفاعل الاندماج يحرر طاقة تقارب  $18 \text{ MeV}$  ، بينما تفاعل الانشطار يحرر طاقة تقارب  $200 \text{ MeV}$  . عدد النويات بالنسبة لتفاعل الاندماج هناك 5 نويات أما بالنسبة لتفاعل الانشطار هناك 236 نوية أي أنه بالنسبة لنوية واحدة فإن تفاعل الاندماج فطاقته أكبر بخمس مرات من الطاقة المحررة بالانشطار .

### 3 – الحصولة الطافية لتحولات نووية تلقائية

## ملحوظة مهمة :

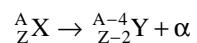
$\Delta E < 0$  تكون المجموعة ناشرة للحرارة أي أنها تحرر طاقة يكتسبها المحيط الخارجي  $Q = -\Delta E > 0$

$\Delta E > 0$  تكون المجموعة ماصة للطاقة أي أنها تكتسب طاقة من الوسط الخارجي  $Q = \Delta E < 0$

بالنسبة لتفاعلات النوية التلقائية تكون دائماً  $\Delta E < 0$  أي أن المجموعة تكون دائماً ناشرة للحرارة ورمز لها بالحرف E وتسمى الطاقة المتحررة فهي تظهر على شكل طاقة حرارية يكتسبها على الخصوص الدقائق المنبعثة خلال التفتق.

### 3 – 1 النشاط الإشعاعي $\alpha$

معادلة التفتق للنشاط الإشعاعي  $\alpha$



الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\alpha$  :

$$E = [m(\alpha) + m(Y) - m(X)] \cdot c^2$$

## تمرين تطبيقي :

أحسب الطاقة الناتجة عن تفتق نواة واحدة من الراديوم 226 علماً أن نواة الراديوم إشعاعية النشاط .

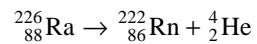
مثل الحصيلة الطافية باستعمال مخطط الطاقة .

نعطي :

${}^{226}_{88} \text{Ra}$	${}^{222}_{86} \text{Rn}$	${}^4_2 \text{He}$
225,977u	221,9702u	4,00150u

## الجواب :

– معادلة التفاعل النووي للتفتق نواة الراديوم 226



– الحصيلة الطافية لهذا التفاعل :

$$E = [m(\alpha) + m(Rn) - m(Ra)] \cdot c^2 = (-5,3 \cdot 10^{-3} \text{ u}) \cdot c^2$$

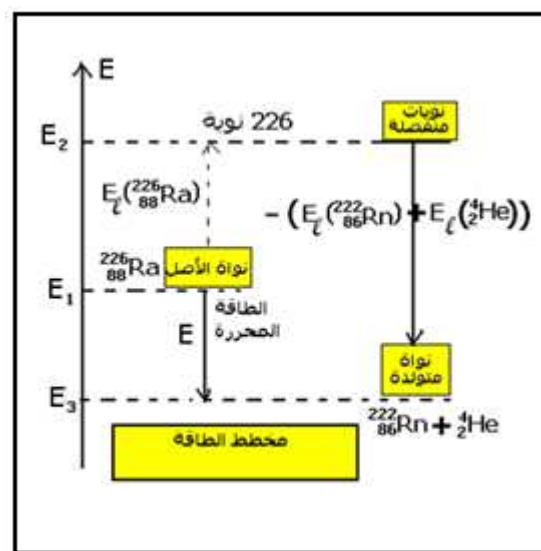
$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} / c^2$$

$$E = -4,94 \text{ MeV}$$

وبالتالي فالطاقة المحررة عن هذا التفاعل إلى الوسط الخارجي هي :  $Q = -E = E_{\alpha}$  وهي ستظهر على شكل طاقة حرارية

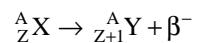
تكتسبه على الخصوص الدقائق  $\alpha$

الحصيلة الطافية باستعمال مخطط الطاقة :



### 3 – 2 النشاط الإشعاعي $\beta^-$

معادلة التفتق للنشاط الإشعاعي  $\beta^-$

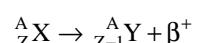


الحصيلة الطافية :

$$E = [m(e) + m(Y) - m(X)] \cdot c^2$$

### 3 – 3 النشاط الإشعاعي $\beta^+$

معادلة التفتق للنشاط الإشعاعي  $\beta^+$



$$E = [m(e) + m(Y) - m(X)] \cdot c^2$$

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

$$Q = -\Delta E = \sum E_C(^A_Z Y) + E_\gamma \quad E_\gamma = h \frac{c}{\lambda}$$

حيث أن  $h$  ثابتة بلانك  $J.s$   $c=3.10^8 m/s$  و  $\lambda$  طول موجة الإشعاع المنبعث .  
**4 - الحصيلة الطافية للتفاعل نووي بصفة عامة ومخطط الطاقة .**

#### **4 – الحصيلة الطافية للتفاعل نووي بصفة عامة ومحطط الطاقة .**

نعتبر تفاعلاً نووياً حيث نعبر عنه بالمعادلة التالية :  

$$\frac{A_1}{Z_1} X_1 + \frac{A_2}{Z_2} X_2 \rightarrow \frac{A_3}{Z_3} X_3 + \frac{A_4}{Z_4} X_4$$
 تدل على، نوع عناصر كيميائية أو دقائة .

X تدل على نوى عناصر كيميائية أو دوائة .

**الحصولة الطاقية المقرونة بهذا التفاصي**

حيث  $\Delta E_i = [E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)] - [E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)]$  طاقة الربط للنواة أو الدقيقة  $i$  و  $\Delta E$  طاقة التفاعل أو الطاقة الناتجة عن التفاعل .

حسب تعبير طاقة الربط لنوبدة نحصا، على:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = (m(\text{produit}) - m(\text{reactif})) \cdot c^2$$

## **مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :**

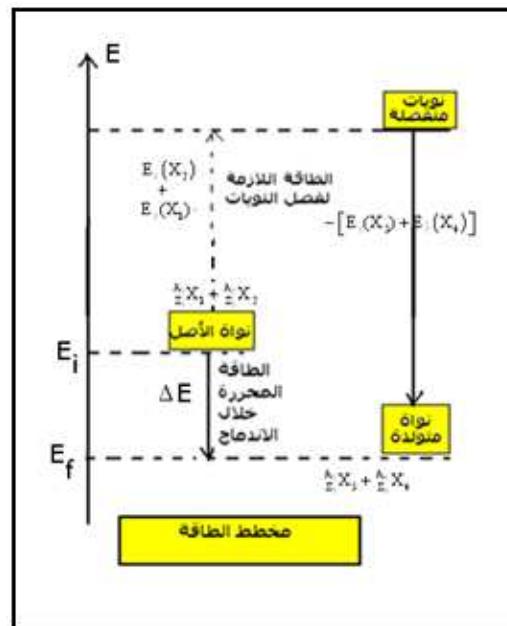
E الطاقة البدئية للمجموعة .

## E<sub>f</sub> الطاقة النهائية للمجموعة

. الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين  $X_1$  و  $X_2$  )

- الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكون النواتين  $X_3$  و  $X_4$  انطلاقاً من النوبات  $E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)$

$\Delta E < 0$  طاقة التفاعل وهي الطاقة المحررة من طرف المجموعة بحيث تصبح أكثر استقراراً.



#### **٧ – التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي .**

**للأشعاعات النووية تأثير على جسم الإنسان وذلك حسب الكمية التي يمتصها الجسم وبطبيعة الأشعة :**

- الإشعاعات  $\alpha$  تخترق المادة بصعوبة ، إذ تكفي ورقة لايقاوتها . تحدث حروقا سطحية على الجلد .

- الإشعاعات  $\beta$  أكثر نفاذية من  $\alpha$  ويلزم عدد مليمترات لايقافها . تستعمل هذه الإشعاعات لمعالجة الخلايا السرطانية .

- الإشعاعات ٧ نافدة بقدر كبير ، ولا يقفها بلزム عدة سنتيمترات من الرصاص ، و تستعمل تشخيص الأمراض بالصور .

تستعمل الإشعاعات التروية في الطب بكميات ضئيلة جداً كعنصر لتشخيص الأمراض أو لمعالجتها.

## كيف تؤثر الإشعاعات النووية على الإنسان ؟

تفاعل الإشعاعات النووية ذات طاقة عالية مع المادة المكونة لجسم الإنسان ، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات الخلايا لبعض الأعضاء محدثة تشوهات بيوكيميائية .