

النوى والكتلة والطاقة
Noyau , masse Et energie

I _ علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة

1 _ علاقة إنشتاين

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

تتوفر كل مجموعة في حالة سكون كتلتها m على طاقة كتلية : $E = mc^2$

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

عندما تتغير الكتلة ب Δm خلال تحول نووي ، يكون تغير الطاقة الكتلية هو ΔE حيث : $\Delta E = \Delta m.c^2$

$\Delta m < 0$ تغير الكتلة سالب وبالتالي فإن ΔE تكون سالبة كذلك : **تحرر المجموعة في هذه الحالة طاقة تمنحها للوسط الخارجي ، $Q > 0$.**

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

2 _ وحدة الكتلة والطاقة

1 _ وحدة الكتلة الذرية

في الفيزياء النووية نعبّر 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 $6.02.10^{23}$ ذرة أي أن

$$1u = 1,66.10^{-27} \text{ kg} \quad \text{وبالتالي} \quad 1u = \frac{1}{12} \frac{12.10^3}{6,03.10^{23}} = 1,66.10^{-27} \text{ kg}$$

مثال : حساب كتلة البروتون بوحدة الكتلة الذرية :

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

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

ب- وحدة الطاقة : الإلكترون - فولط

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

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

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

ج- الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u .

حسب علاقة إنشتاين الطاقة التي تكافئ 1u هي :

$$E = 1,66054 \times (299792458)^2 = 1492,42.10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{1492,42.10^{-13}}{1,602177.10^{-13}} = 931\text{MeV}$$

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

مثال : حساب طاقة الإلكترون :

$$E = mc^2 \quad \text{بحيث أن} \quad m_e = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$$

$$E = 9,1.10^{-31} \cdot 9.10^{16} \text{ J} = 81,9.10^{-15} \text{ J} \quad \text{و بما أن} \quad 1\text{eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J} \quad \text{فإن} \quad E = 0,512\text{MeV}$$

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

II _ طاقة الربط Energie de liaison :

1 _ النقص الكتلي :

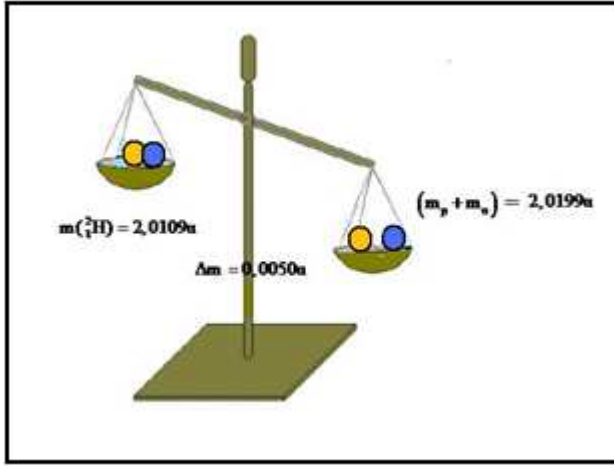
تبين قياسات دقيقة أنجزت بواسطة معيار الكتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع كتل الدقائق التي تكونها .

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

مجموع الدقائق المكونة لنواة الدوتيريوم هو : $Z=1$ و $N=1$

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

وبالتالي فإن



$$\Delta m = (m_p + m_n) - m({}_1^3\text{H}) = 2,0199 - 2,0109 = 0,0090u$$

نسمي Δm بالنقص الكتلي للنواة .

بصفة عامة : نسمي النقص الكتلي Δm لنواة ، الفرق

بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة . وهو مقدار دائما موجب .

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

2 _ طاقة الربط

النواة مكونة من بروتونات ذات شحنة موجبة ونيوترونات عديمة الشحنة .

يفسر تماسك النواة بوجود قوى لبتأثيرات البينية القوية .

لفصل نويات النواة يجب إعطاؤها طاقة . تسمى بطاقة الربط E_ℓ .

حسب علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة فإن النقص الكتلي لنواة يكافئ

الطاقة اللازمة إعطاؤها لفصل نوياتها :

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

3 _ طاقة الربط بالنسبة لنوية :

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

وحدة \mathcal{E} هي : MeV/nucleon

وهي تمثل طاقة الربط المتوسطة لنوية .

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

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

تبرين تطبيقي :

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

أحسب طاقة الربط لنوية الراديوم واستنتج طاقة الربط بالنسبة لنوية .

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

و $c = 3.10^8 \text{m/s}$ و $1u = 1,66.10^{-27} \text{kg}$

الحواب :

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

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

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

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

طاقة الربط بالنسبة لكل نوية : $7,68 \text{MeV} / c^2$

4 _ منحنى أسطون

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

عدد النويات A . أنظر الشكل .

من خلال المنحنى نلاحظ :

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

الحديد ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ 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 جدا أي أن طاقة الربط بالنسبة لنوية ضعيفة الشيء

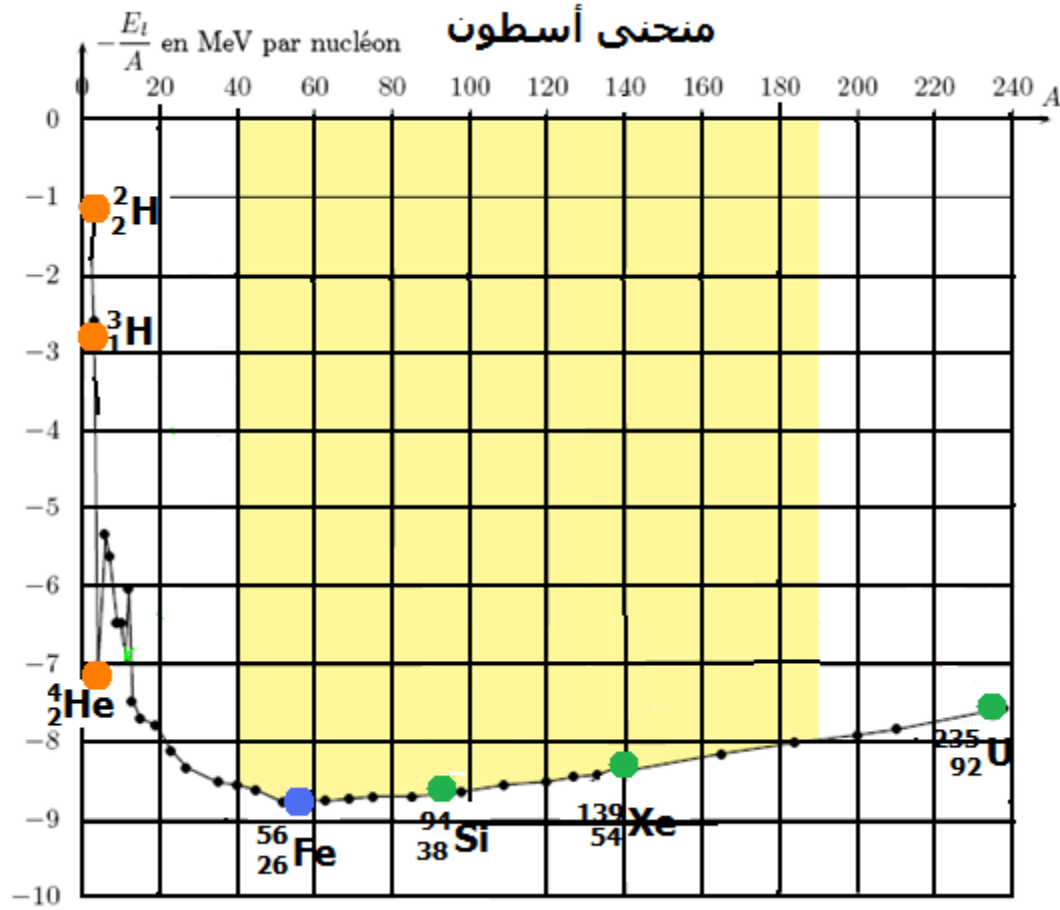
الذي يبين أن هذه النوى ستكون غير مستقرة وبالتالي ستكون لها إمكانية التحول إلى نوى أكثر استقرارا .

يمكن لهذه النوى أن تتحول وفق نوعين من التفاعلات النووية :

- $A > 195$ النوى الثقيلة غير المستقرة تنشط إلى نواتين خفيفتين . وتسمى هذه الظاهرة بالانشطار النووي .

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

ملحوظة : الاندماج والانشطار تفاعلات نووية محرزان .



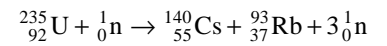
III - الانشطار والاندماج النوويان

1 - الانشطار النووي

1 - 1 تعريف

يمكن لنوى ثقيلة كالأورانيوم أو البلوتونيوم مثلا أن تنشط ، بعد قذفها بنوترون بطيء (طاقة حركيته أقل من 0,1MeV) إلى نواتين خفيفتين . يسمى هذا التحول الانشطار النووي ، وتسمى النوى الثقيلة النوى الشظيرة fissile والنوترون القذيفة : النوترون الحراري .

مثال :

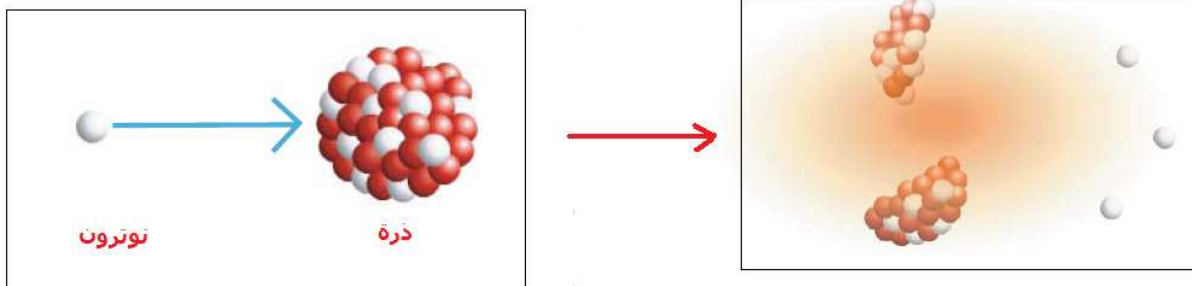


1 - 2 تفاعل متسلسل

خلال الانشطار النووي ، يمكن للنوترونات الناتجة أن :

- تفلت من الوسط التفاعلي .
- أو تلتقها نوى غير شظيرة ،
- أو تتسبب 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 .

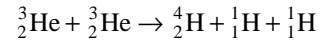
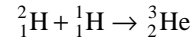
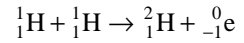
الانشطار النووي La fission nucleaire



2 - الاندماج النووي

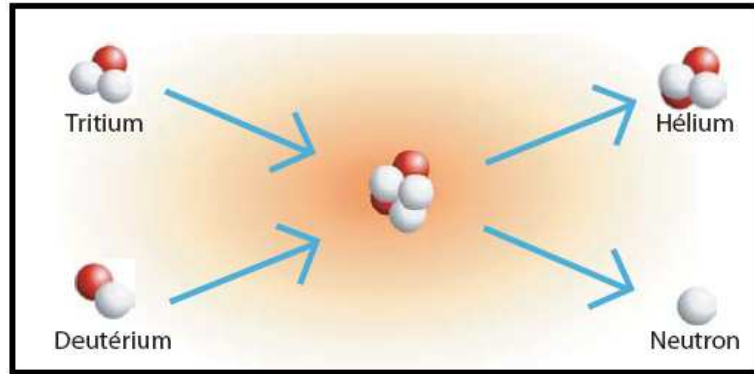
2 - 1 تعريف

الاندماج النووي هو تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلاً .
مثال : تقع هذه التفاعلات داخل الشمس حيث يتم خلالها تكوين نوى الهيليوم انطلاقاً من الهيدروجين وفق ثلاث مراحل :



2 - 2 شروط تحقيق الاندماج النووي

يجب أن تتوفر النواتين الخفيفتين على طاقة تمكنها من التغلب على قوى التأثيرات البينية التنافرية . ويتطلب توفير هذه الطاقة درجة حرارة عالية ولهذا السبب ينعت الاندماج النووي بالتفاعل النووي الحراري .



IV - الحصلة الكتلية والطاقة لتفاعل نووي .

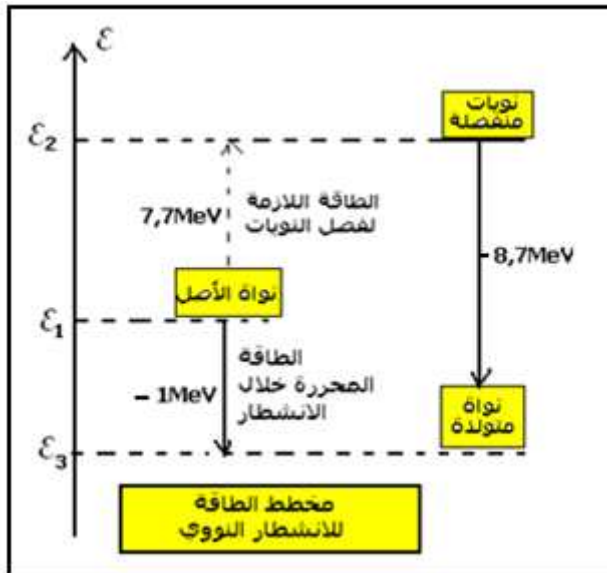
1 - الحصلة الطاقة لتفاعلات نووية محرصة :

الحصلة الطاقة للانشطار النووي

نشاط 1

باستغلال مخطط الطاقة 1 أجب على الأسئلة التالية :

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



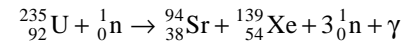
الجواب

- 1 - يبين مخطط الطاقة أنه للحصول على نويات منفصلة انطلاقاً من نواة ثقيلة كالأورانيوم مثلا يجب إعطاء للنواة الثقيلة طاقة بالنسبة لنوية تساوي 7,7MeV + بالنسبة لكل نوية .
- 2 - إذا كانت النوى الناتجة أو المتولدة خفيفة وتوجد في المنطقة الدنوية لمنحنى أسطون ونحصل عليها انطلاقاً من النويات المنفصلة السابقة فالطاقة الناتجة عن هذه العملية تساوي حسب المخطط 8,7MeV - بالنسبة لنوية . وبالتالي فالطاقة المحررة خلال هذه العملية هي $\Delta \epsilon = \epsilon_3 - \epsilon_1 = -1\text{MeV}$

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

الحصلة الطاقة للانشطار النووي :

نعتبر معادلة الانشطار النووي لنواة الأورانيوم 235 التالية :



تغير الكتلة المصاحب لهذا التفاعل النووي هو :

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

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

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

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

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

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

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

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

2 - الحصلة الطاقة 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 محال الاستقرار لمنحنى أسطوان

الجواب

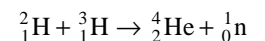
1 - يبين مخطط الطاقة أنه للحصول على نويات منفصلة انطلاقا من خفيفة مثلا يجب إعطاء للنواة الثقيلة طاقة بالنسبة لنوية من 1 MeV إلى 3 MeV بالنسبة لكل نوية .

2 - إذا كانت النوى الناتجة أو المتولدة أثقل من نوى الأصل وتوجد في المنطقة الدنوية لمنحنى أسطوان قريبة من مجال الاستقرار ونحصل عليها انطلاقا من النويات المنفصلة السابقة فالطاقة الناتجة عن هذه العملية تساوي حسب المخطط 7 MeV - بالنسبة لنوية . وبالتالي فالطاقة المحررة خلال هذه العملية هي $\Delta \epsilon = \epsilon_3 - \epsilon_1 = -4 \text{ MeV} - 6 \text{ MeV}$

خلال هذا التحول يكون هناك نقص كتلي و انتقال طاقي مهم جدا .

الحصلة الطاقة لاندماج نووي :

نعتبر تفاعل الاندماج التالي :



تغير الكتلة المصاحب لهذا التحول النووي هو :

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

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

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

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

ملحوظة :

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

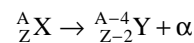
3 - الحصلة الطاقة لتحولات نووية تلقائية

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 للتفاعلات النووية التلقائية تكون دائما $\Delta E < 0$ أي أن المجموعة تكون دائما ناشرة للحرارة ونرمز لها بالحرف E وتسمى الطاقة المتحررة فهي تظهر على شكل طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقائق المنبعثة خلال التفتت .

3 _ 1 النشاط الإشعاعي α

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي α



الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α :

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

تبرين تطبيقي :

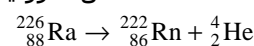
أحسب الطاقة الناتجة عن تفتت نواة واحدة من الراديوم 226 علما أن نواة الراديوم إشعاعية النشاط α .
 مثل الحصيلة الطاقية باستعمال مخطط الطاقة .

نعطي :

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

الجواب :

– معادلة التفاعل النووي للتفتت نواة الراديوم 226



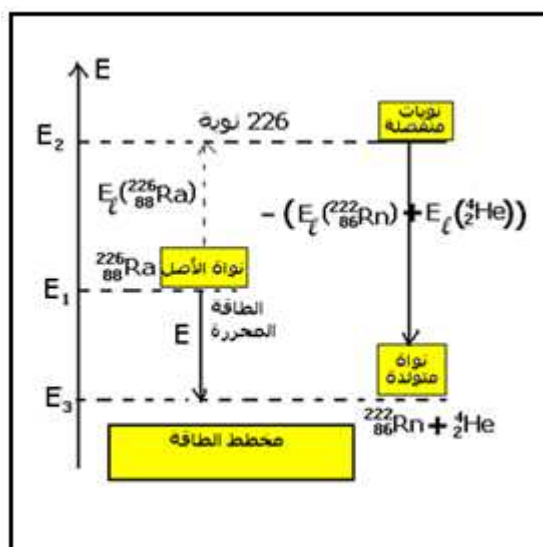
– الحصيلة الطاقية لهذا التفاعل :

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

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

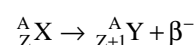
$$E = -4,94 \text{ MeV}$$

وبالتالي فالطاقة المحررة عن هذا التفاعل إلى الوسط الخارجي هي : $Q = -E = E_c(\alpha)$ وهي ستظهر على شكل طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقائق α
 الحصيلة الطاقية باستعمال مخطط الطاقة :



3 _ 2 النشاط الإشعاعي β^-

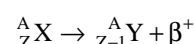
معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^-



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

3 _ 3 النشاط الإشعاعي β^+

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^+



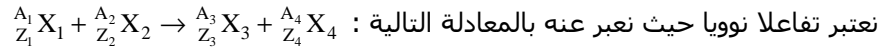
$$E = [m(e) + m(Y) - m(X)] \cdot c^2$$

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

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

بحيث أن h ثابتة بلانك $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{J.s}$ و $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ و λ طول موجة الإشعاع المنبعث .

4 - الحصلة الطاقةية للتفاعل نووي بصفة عامة ومخطط الطاقة .



X_i تدل على نوى عناصر كيميائية أو دقائق .

الحصلة الطاقةية المقرونة بهذا التفاعل :

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

الناتجة عن التفاعل .

حسب تعبير طاقة الربط لنوييدة نحصل على :

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

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

مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :

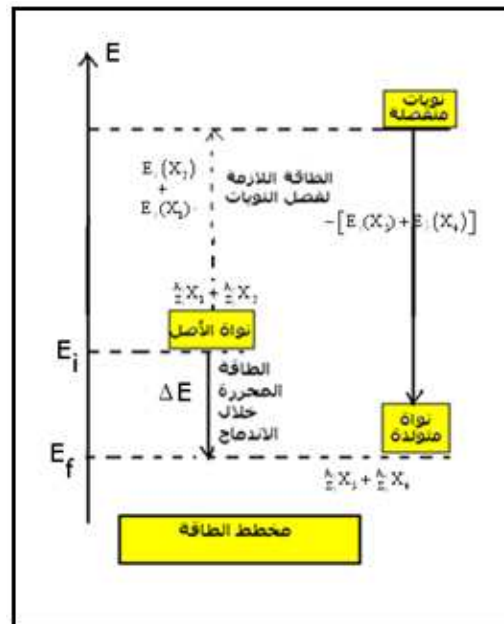
E_i الطاقة البدئية للمجموعة .

E_f الطاقة النهائية للمجموعة

$E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)$ الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين X_1 و X_2 .

$-[E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)]$ الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكون النواتين X_3 و X_4 انطلاقا من النويات .

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



٧ - التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي .

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

- الإشعاعات α تخترق المادة بصعوبة ، إذ تكفي ورقة لإيقافها . تحدث حروفا سطحية على الجلد .

- الإشعاعات β أكثر نفاذية من α ويلزم عدد مليمترات لإيقافها . تستعمل هذه الإشعاعات لمعالجة الخلايا السرطانية .

- الإشعاعات γ نافذة بقدر كبير ، ولإيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص ، وتستعمل لتشخيص الأمراض بالصور .

تستعمل الإشعاعات النووية في الطب بكميات ضئيلة جدا كعنصر لتشخيص الأمراض أو لمعالجتها .

كيف تؤثر الإشعاعات النووية على الإنسان ؟

تتفاعل الإشعاعات النووية ذات طاقة عالية مع المادة المكونة لجسم الإنسان ، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات الخلايا لبعض

الأعضاء محدثة تشوهات بيوكيميائية .