

(I) التكافؤ : كتلة - طاقة (Equivalence masse-énergie).

(1.1) النقص الكتلي (Défaut de masse)

لاحظ العلماء أن كتلة نواة نويده أقل من مجموع كتل الدقائق المكونة لها وهذا ما يناقض قوانين الانحفاظ التي جاء بها Lavoisier

● نواة الهيليوم مثلا : ${}^4_2\text{He}$

كتلة النواة

$m_n = 6,6647 \times 10^{-27} \text{ kg}$

كتلة مجموع المكونات

$= 2 m_p + 2 m_n$

$= 2 \times 1,6726 \times 10^{-27} + 2 \times 1,6750 \times 10^{-27}$

$= 6,6952 \times 10^{-27} \text{ kg}$

↔ النقص الكتلي : Δm

$$\Delta m = 0,0305 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m = m_{\text{constituants}} - m_{\text{noyau}} = Z.m_p + (A - Z).m_n - m_{\text{noyau}}$$

$$\Delta m > 0$$

☹ أين ذهب الفرق بين الكتلتين ؟ 🔥

(2.1) طاقة الربط (Energie de liaison)

هي الطاقة التي يجب أن نمنحها لنواة في سكون لكي نفكها إلى مختلف مكوناتها (نويات : nucléons).

أو بتعبير آخر : هي طاقة التي يجب أن تمنح لبروتونات و نوترونات لتكوين نواة .

هل هناك علاقة بين النقص الكتلي وطاقة الربط ؟ لنطرح السؤال على السيد ألبرت أينشتاين (Albert Einstein)

(1.2.1) فرضية أينشتاين (1905) :

"كل جسم في سكون و بسبب كتلته فقط يتوفر على طاقة : $E = mc^2$ تسمى طاقة الكتلة"

الطاقة E يعبر عنها بالجول (Joule)

الكتلة m يعبر عنها بالكيلوغرام (kilogramme)

سرعة انتشار الضوء في الفراغ : $c = 2,9979.10^8 \text{ m.s}^{-1} = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

بالنسبة لنواة الهيليوم يقابل النقص الكتلي لهذه النواة طاقة ربط :

$$E_1 = \Delta m . c^2 = 0,0305 \times 10^{-27} \times (2,9979 \times 10^8)^2 = 2,741 \times 10^{-12} \text{ J}$$

(221) تعبير طاقة الربط لنوية ما :

$$E_1 = [m_{\text{constituants}} - m_{\text{noyau}}] = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{noyau}} \cdot c^2$$

3.1 طاقة الربط بالنسبة لنوية

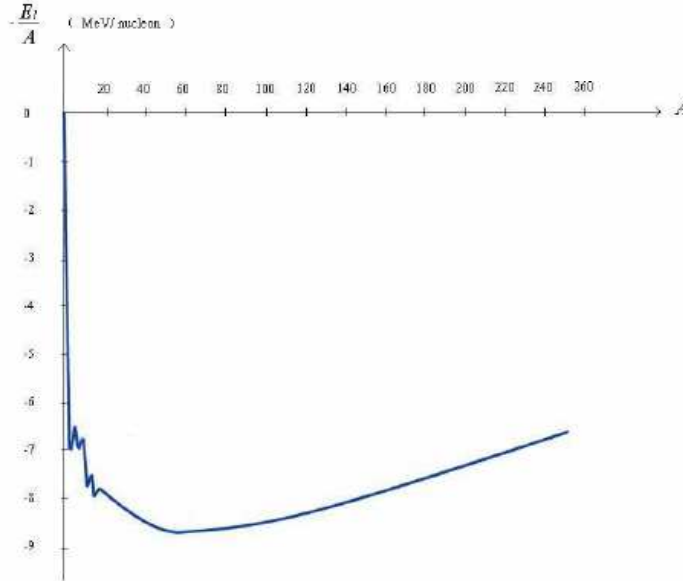
نعرف طاقة الربط بالنسبة لنوية بالعلاقة : $\frac{E_1}{A}$ حيث E_1 طاقة الربط و A عدد النويات وهي تمثل طاقة الربط المتوسطة لنوية . تمكن كذلك من مقارنة استقرار مختلف النوى و التنبؤ بطبيعة التفاعلات النووية المحتملة . وحدتها هي : MeV/nucleon . كلما كانت $\frac{E_1}{A}$ كبيرة كلما كانت النواة مستقرة . أمثلة :

النوى		$\frac{E_1}{A}$ (Mev/nucleon)
الدوتريوم Deutérium	${}^2_1\text{H}$	1,1
الهيليوم 4 Helium	${}^4_2\text{He}$	7,07
الأورانيوم 235 Uranium	${}^{235}_{92}\text{U}$	7,59

ماهي النواة الأقل استقرارا ؟ (في الجدول السابق)

الجواب : الدوتريوم

4.1 منحنى أستون



اعتمادا على منحنى أستون ، أجب عن الأسئلة التالية :

(1 حدد منطقة النوى الأكثر تماسك (الأكثر استقرارا)

(2 من النوى التالية حدد النوى الأكثر استقرارا : ${}^4_2\text{He}$ أو ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ أو ${}^{235}_{92}\text{U}$ ؟

(3 حدد مناطق النوى الأقل استقرارا

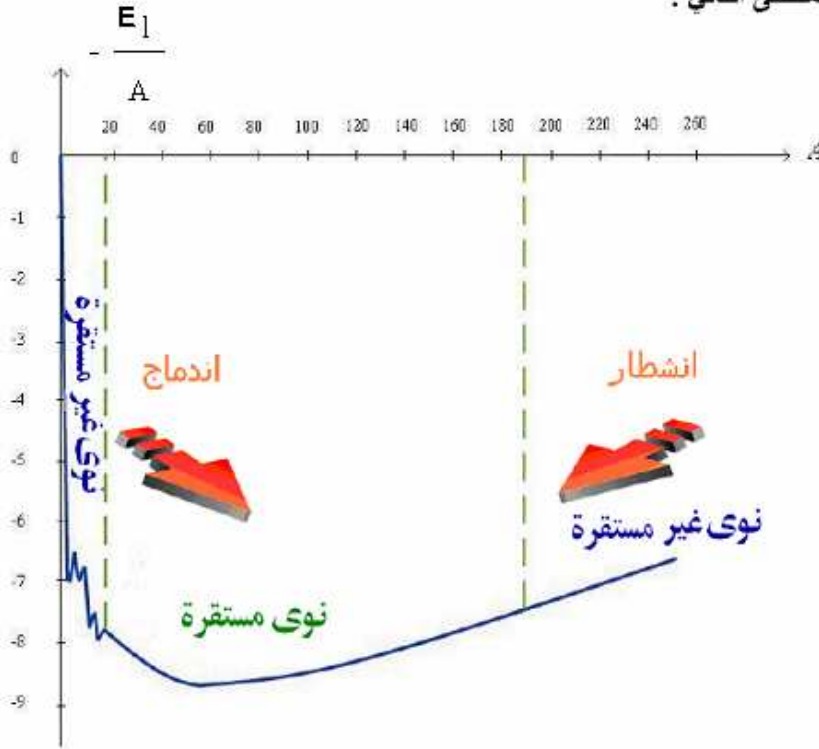
(4 في أي منطقة يمكن أن نتوقع حدوث اندماج نووي؟

(5 في أي منطقة يمكن أن نتوقع حدوث انشطار نووي؟

الجواب :

- (1) النوى الأكثر تماسكا هي النوى التي لها طاقة الربط بالنسبة لنوية أكبر (بالقيم المطلقة) وهي نوى تتواجد في المنطقة الوسطى
- (2) نوى الحديد 56 هو الأكثر استقرارا لأنه يتوفر على أكبر طاقة الربط بالنسبة لنوية .
- (3) النوى الأقل استقرارا هي المتواجدة في مطرفي المنحنى
- (4) تفاعلات الاندماج تخص النوى الخفيفة
- (5) تفاعلات الانشطار تخص النوى الثقيلة .

نلخص ذلك في المنحنى التالي :



(II) الوحدات المستعملة في الفيزياء النووية (Les unités utilisées en physique nucléaire)

(1.2) الإلكترون فولط (eV) l'électron-volt

الإلكترون فولط

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ميغا إلكترون فولط (MeV)

$$1 \text{ MeV} = 1,0 \times 10^6 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

أوجد ب (MeV) الطاقة المكافئة لكتلة الإلكترون :

الحل:

$$E = mc^2 = \frac{9,1 \times 10^{-31} \times (3,0 \times 10^8)^2}{1,6 \times 10^{-13}} = 0,51 \text{ MeV}$$

(2.2) وحدة الكتلة الذرية: L'unité de masse atomique (u)

في النظام العالمي يعبر عن الكتلة ب (Kg) ، بينما في الفيزياء النووية نستعمل وحدة الكتلة الذرية (u)

نعرف :

$$1 \text{ u} = \frac{M_{12C}}{N_A} \times \frac{1}{12} = \frac{12,0000 \times 10^{-3}}{6,02214 \times 10^{23}} \times \frac{1}{12} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{كتلة النواة} \quad \frac{M_{12C}}{N_A}$$

$$\text{كتلة نوية واحدة} \quad \frac{M_{12C}}{N_A} \times \frac{1}{12}$$



قد تلاحظ أن 1u أصغر من كتلة البروتون أو النيوترون ، كيف تفسر ذلك ؟

تعريف وحدة الكتلة الذرية كان انطلاقاً من كتلة نواة وبما أن كتلة النواة أصغر من كتلة المكونات فيديهي أن تكون 1u أصغر من كتلة النيوترون والبروتون وبالتالي سيكون :

$$m_p = \frac{1,6726 \times 10^{-27}}{1,66054 \times 10^{-27}} = 1,007277 \text{ u}$$

$$m_n = \frac{1,6750 \times 10^{-27}}{1,66054 \times 10^{-27}} = 1,008665 \text{ u}$$

(3.2) وحدة : $\text{MeV} \cdot \text{C}^{-2}$

هي وحدة للكتلة مصدرها علاقة تكافؤ كتلة - طاقة
إن الطاقة المكافئة لكتلة تساوي 1u هي :

$$E = \frac{1,66054 \times 10^{-27} \times 2,9979 \times 10^8^2}{1,6 \times 10^{-13}} = 931,5 \text{ MeV}$$

يمكن أن نعبر عن الكتلة m بالعلاقة التالية:

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

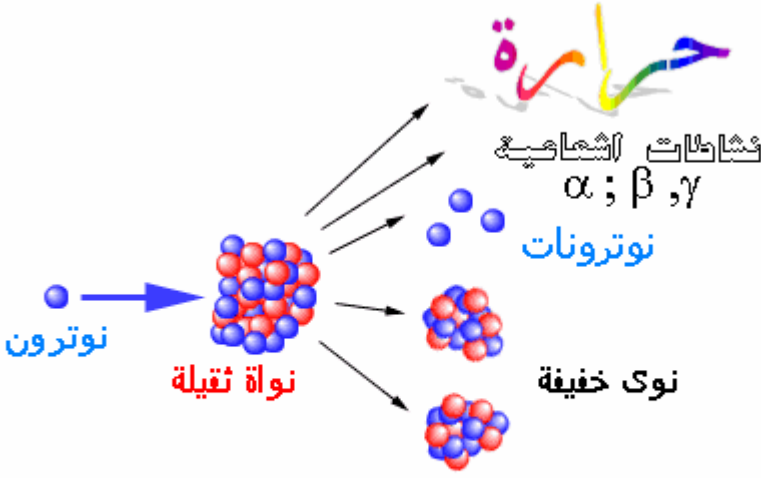
أهمية هذه العلاقة تكمن في الربط المباشر بين الكتلة والطاقة

(III) الحصلة الكتلية و الطاقة لتفاعل نووي

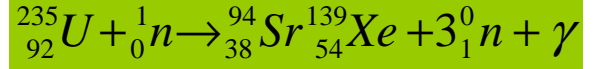
1.3 الانشطار والاندماج النوويين

1.13 الانشطار النووي:

هو تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة شظورة، بعد التقاطها لنوترون حراري إلى نواتين خفيفتين.



مثال:

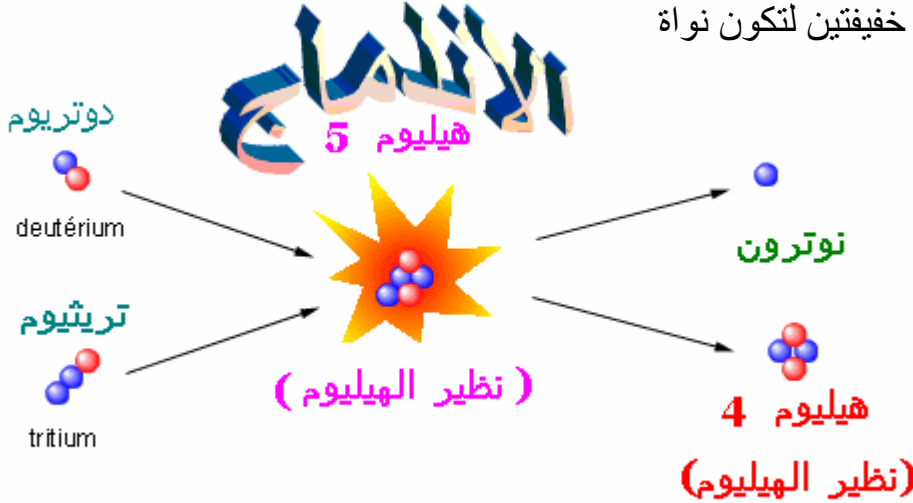


الانشطار

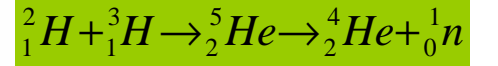
يمكن للنوترونات الناتجة عن الانشطار أن تسبب تفاعل متسلسل قد يتم بكيفية تفجيرية، إذا كان غير متحكم فيه (القبلة النووية A)

2.13 الاندماج النووي:

هو تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكون نواة أكثر ثقلا



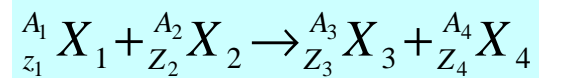
مثال:



2.3 الحصلة الكتلية و الطاقة لتفاعل نووي

1.23 الحالة العامة:

يمكن أن نلخص النشاطات الإشعاعية والتفاعلات النووية بالمعادلة التالية



نكتب الحصلة الطاقة المقرونة بهذا التفاعل كالتالي:

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

أي:

$$\Delta E = \Delta m \cdot C^2 = [m_{(produits)} - m_{(réactifs)}] \cdot C^2$$

2.23 تطبيقات

تمرين 1

أ- حدد مكونات النوية : ${}_{92}^{235}\text{U}$

ب- احسب النقص الكتلي للنواة السابقة. نعطي :

$$m({}_{92}^{235}\text{U}) = 234,99332 \text{ u} , m_n = 1,00866 \text{ u} , m_p = 1,00728 \text{ u} , 1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ g}$$

$$\Delta m = (92 m_p + 143 m_n) - m({}_{92}^{235}\text{U})$$

$$\Delta m = (92 \times 1,00728 + 143 \times 1,00866) - 234,99332$$

$$\Delta m = 236,90814 - 234,99332 = 1,91482 \text{ u}$$

$$\text{L'énoncé donne } 1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m = 1,91482 \cdot (1,66054 \times 10^{-27}) = 3,17964 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

ج- احسب طاقة الربط للنواة

$$E_L = \Delta m \times c^2$$

$$E_L = 3,17964 \times 10^{-27} \times (2,9979 \times 10^8)^2$$

$$E_L = 2,85767 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6022 \times 10^{-27} \text{ J} , \Leftrightarrow 1 \text{ J} = 6,2414 \times 10^{26} \text{ eV}$$

$$E_L = 2,85767 \times 10^{-10} \times 6,2414 \times 10^{26}$$

$$E_L = 1,7836 \times 10^9 \text{ eV}$$

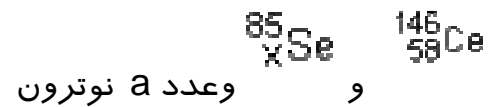
$$E_L = 1783,6 \text{ MeV}$$

د- استنتج طاقة الربط بالنسبة لنوية ثم قارن استقرار U(235) مع Ra (226) ذو $E_1 = 7,66 \text{ MeV par nucléon}$

$$E_L / A = 1783,6 / 235 = 7,5897 \text{ MeV par nucléon} \text{ ومنه الأورانيوم } 235 \text{ أقل استقرارا من اللراديوم (226)}$$

كتل بعض الدقائق	كتل النوى ب : u	معطيات
proton : $m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg	uranium 235 : 234,9935 u	$1 \text{ u} = 1,6606 \times 10^{-27}$ kg
neutron : $m_n = 1,6749 \times 10^{-27}$ kg	cérium 146 : 145,8782 u	$c = 2,9979 \times 10^8 \text{ m / s}$
électron : $m_e = 9,1094 \times 10^{-31}$ kg	sélénium 85 : 84,9033 u	$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
		$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

من التفاعلات النووية التي يعتمد عليها في المفاعلات النووية : تفاعل انشطار $^{235}_{92}\text{U}$ ينتج عنه النويدتين التاليتين



(1) اكتب معادلة التفاعل محددًا X و a .

$$\text{قانون سودي : } 92 + 0 = 58 + X + a \times 0 \quad \text{أي } X = 34$$

$$235 + 1 = 146 + 85 + a$$

$$a = 5 \quad \text{و} \quad X = 34$$



(2) احسب النقص الكتلي ثم استنتج الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل بالجول وب MeV

$$\Delta m = \text{كتلة المتفاعلات} - \text{كتلة النواتج}$$

تغير الكتلة

$$\Delta m = (145,8782 + 84,9033 + 5 \times 1,0086) - (234,9935 + 1,0086)$$

$$\Delta m = 235,8195 - 236,0021 = -0,1826 \text{ u}$$

$$E = \Delta m \times c$$

بالجول :

$$\Delta m = -0,1826 \text{ u} = 0,1826 \times 1,6606 \times 10^{-27} = -3,032 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 = -3,032 \times 10^{-28} \times (2,9979 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = -2,724981 \times 10^{-11} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \times (1,602 \times 10^{-19} \text{ C})\text{V} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ CV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 6,24219 \times 10^{12} \text{ MeV}$$

$$\Delta E = - 2,724981 \times 10^{-11} \text{ J} = 2,724981 \times 10^{-11} \times 6,24219 \times 10^{12} = -170,09849 \text{ MeV}$$