

طاقة النواة

I. التكافؤ كتلة-طاقة

- طاقة الكتلة

تمثل الكتلة شكلاً من أشكال الطاقة يسمى طاقة الكتلة.

طاقة الكتلة هي الطاقة التي يتتوفر عليها كل جسم - حتى ولو كان في سكون -

خاصية

$$E = mc^2 \quad (\text{J})$$

بسبب كتلته فقط وتعبيرها:

$$c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

حيث c سرعة انتشار الضوء:

- إذا كان الجسم في حركة فإنه يتتوفر علامة على ذلك، على طاقة حركية.
- يترب عن هذه العلاقة أن كل تغير يحصل في طاقة مجموعة يقابل تغير في كتلتها، والعكس صحيح.



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

العلاقة بين التغيرين هي:

على السلم الذري أو النووي يعبر عن الطاقة بوحدة مناسبة تسمى "إلكترون - فولط" (eV)

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

أو مصاعفها "الميغا إلكترون - فولط" (MeV) :

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

مثال: طاقة الكتلة لبروتون كتلته $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ هي:
 $E = 1,673 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2 = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

$$E = \frac{1,5 \cdot 10^{-10}}{1,6 \cdot 10^{-13}} = 937,5 \text{ MeV}$$

II. طاقة الربط لنواة

- النقص الكتلي

تجريبياً يلاحظ أن كتلة نواة الذرة هي دائماً أصغر من مجموع كتل النويات المكونة لها.

تعريف

الفرق بينهما يسمى النقص الكتلي للنواة، وتعبيره:



$$\Delta m = [Zm_p + (A-Z)m_n] - m_X$$

حيث: m_X : كتلة النواة ، m_p : كتلة بروتون ، m_n : كتلة نوترون.

$$\Delta m > 0$$



على السلم الذري أو النووي يعبر عن الكتلة بوحدة مناسبة تسمى "وحدة الكتلة الذرية" (u):

$$1u = \frac{1}{12} \times m\left({}_{6}^{12}\text{C}\right) = \frac{M\left({}_{6}^{12}\text{C}\right)}{12 \times N_A} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

مثال: النقص الكتلي لنواة الهيليوم ${}^4\text{He}$ هو:

$$\Delta m = \frac{5,038 \cdot 10^{-29} \text{ Kg}}{1,66054 \cdot 10^{-27}} = 0,03034 \text{ u} \quad \text{أي:}$$

$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} / c^2 \quad \text{ تستعمل أيضاً وحدة أخرى للكتلة وهي } MeV / c^2 \text{ بحيث:}$$

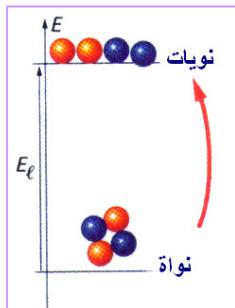
• طاقة الربط لنواة

هي الطاقة اللازمة منحها لنواة في حالة سكون لتفتيتها إلى نويات منفصلة و في

تعريف

$$E_\ell = \Delta m \cdot c^2$$

سكون. و تعبيرها هو:



عكسياً حين تتكون نواة انطلاقاً من نويات منفصلة تتحرر الطاقة E_ℓ .



مثال: طاقة الربط لنواة الهيليوم ${}^4\text{He}$ هي:

$$E_\ell = 0,03034 \times 931,5 = 28,26 \text{ MeV}$$

• طاقة الربط لنوية

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

هي طاقة الربط المتوسطة لنووية و تساوي النسبة التالية:

تعريف

طاقة الربط لنووية تمثل الطاقة الضرورية لانتزاع نوية واحد من النواة.
و تستعمل لمقارنة النويات من حيث استقرارها: كلما كانت مرتفعة كلما كانت النواة مستقرة أكثر.



مثال:

- طاقة الربط لنواة الحديد ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ هي: $E_\ell = \frac{492}{56} = 8,79 \text{ MeV} / \text{nucléon}$ $\leftarrow E_\ell = 492 \text{ MeV}$

- طاقة الربط لنواة اليورانيوم ${}^{238}_{92}\text{U}$ هي: $E_\ell = \frac{1802}{238} = 7,57 \text{ MeV} / \text{nucléon}$ $\leftarrow E_\ell = 1802 \text{ MeV}$

نواة الحديد 56 أكثر استقراراً من نواة اليورانيوم 238.

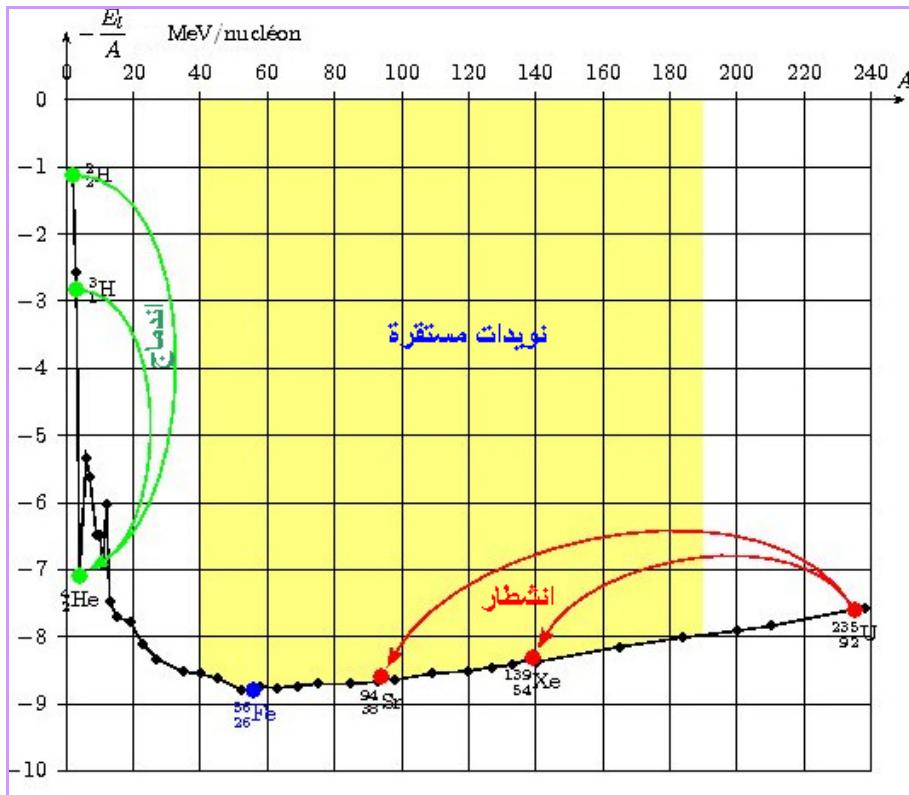
• منحنى "أسطون"

تتغير طاقة الربط المتوسطة لنووية بدلالة عدد الكتلة A للنواة.

يمثل منحنى أسطون تغيرات مماثلة لطاقة الربط المتوسطة لنووية بدلالة عدد الكتلة.

في هذا المنحنى الحالة المرجعية للطاقة ($E=0$) هي حالة نويات منفصلة و في سكون.

يوافق أكبر استقرار القيمة الدنيا للمنحنى أي القيمة القصوى لطاقة الربط المتوسطة لنووية.



أهمية المنحنى:

يمكن منحنى من مقارنة النويدات من حيث استقرارها:

- في المجال $A \leq 190$ تقع

النويات المستقرة التي لها طاقة ربط متوسطة عليا:

$$E_B/A \approx 8 \text{ MeV / nucléon}$$

على طرف المبيان تقع النويات الأقل استقرارا و هي

نوعان:

- نويات ثقيلة يمكنها أن تنشطر إلى نوatin أخف منها و أكثر استقرارا مع تحرير طاقة.

- نويات خفيفة يمكنها أن تندمج لتعطي نوبدة أثقل منها مع تحرير طاقة.

III. الانشطار والاندماج النووي

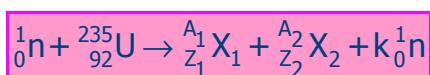
• الانشطار النووي

هو تفاعل نووي محَرَّض خلاله تقسيم نواة ثقيلة و قابلة للانشطار إلى نوatin خفيفتين وذلك تحت تأثير اصطدامها بنوترون طاقته الحركية لا تتعدي $0,1 \text{ MeV}$ (ما يسمى نوترونا حراريا). هذا التفاعل ناشر للطاقة.

تعريف

• انشطار اليورانيوم 235

يعتبر اليورانيوم 235 النوية الوحيدة القابلة للانشطار و معادلة الانشطار العامة هي:



عموما العدد k يتراوح بين 1 و 3 نوترونات.

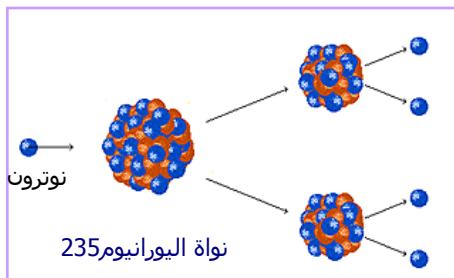
$$\begin{cases} A_1 + A_2 + k = 236 \\ Z_1 + Z_2 = 92 \end{cases}$$

قانون الانفراط يفرض ان العلاقات التاليتين:

مثال:



• التفاعل المتسلسل



يمكن للنوترونات المنبعثة خلال انشطار أن تحدث بدورها انشطار نوى أخرى. إذا كان عدد النوترونات المنبعثة خلال كل انشطار أكبر من 1 فإنه يحدث تفاعل متسلسل.

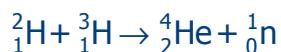
• الاندماج النووي

تعريف

هو تفاعل نووي محضر خلاله تندمج نواتان خفيفتان فتنتج نواة أثقل.
و هو تفاعل ناشر للطاقة.

هذا التفاعل لا يحدث إلا عند درجة حرارة مرتفعة جدا (K⁸) لذلك فهو يسمى تفاعلاً نووياً حرارياً.

مثال: اندماج نظائر الهيدروجين الذي هو مصدر طاقة الشمس:



IV. حصيلة الكتلة و الطاقة

• الطاقة التي يحررها تفاعل نووي

▪ تعبيرها باستعمال تناقص الكتلة

${}_1^A\text{X}_1 + {}_2^B\text{X}_2 \rightarrow {}_3^C\text{X}_3 + {}_4^D\text{X}_4$ الطاقة التي يحررها تفاعل نووي معادله:

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ توافق تناقص الكتلة الإجمالية Δm للمجموعة و تعبيرها هو:

$\Delta m = (m_{X_3} + m_{X_4}) - (m_{X_1} + m_{X_2})$ حيث:

$\Delta E < 0$: المجموعة تحرر(تفقد) طاقة. $\leftarrow \Delta m < 0$ 

${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$ لنحسب الطاقة التي يحررها تفاعل الاندماج ذو المعادلة: **مثال:**

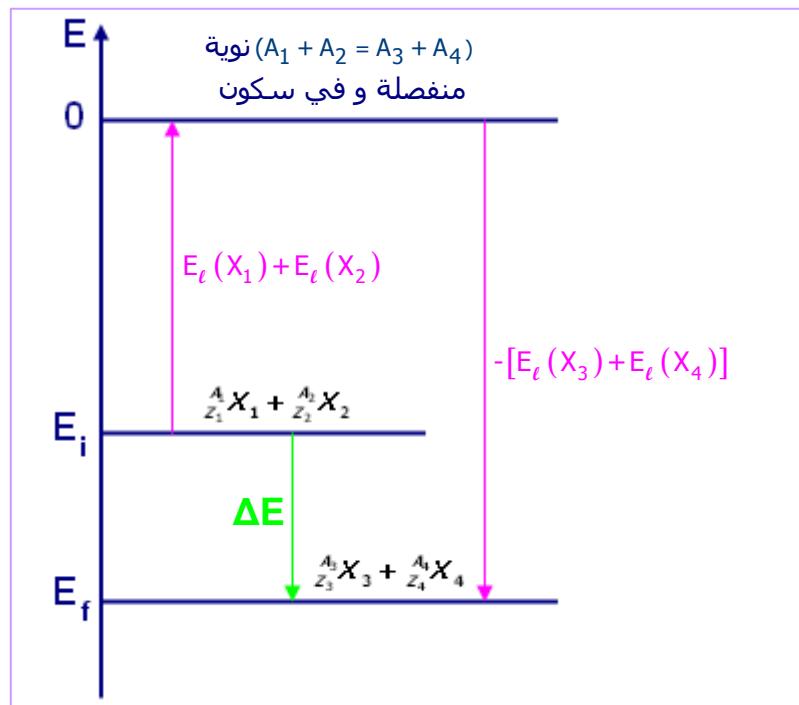
معطيات: $m_n = 1,009 \text{ u} / m_{{}_2^4\text{He}} = 4,003 \text{ u} / m_{{}_1^3\text{H}} = 3,016 \text{ u} / m_{{}_1^2\text{H}} = 2,014 \text{ u}$

$\Delta m = (m_{{}_2^4\text{He}} + m_n) - (m_{{}_1^2\text{H}} + m_{{}_1^3\text{H}}) = -0,018 \text{ u}$ تناقص الكتلة الإجمالية هو:

$\Delta E = -0,018 \times 931,5 \approx -17 \text{ MeV}$ و الطاقة المحررة هي:

التفاعل ينشر طاقة تساوي 17 MeV عن كل نواة هليوم ناتجة.

• تعبيرها باستعمال طاقات الربط



من هذا المخطط نستنتج ما يلي:



$$\Delta E = [E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)] - [E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)] \quad \text{هي:}$$

مثال: لنعد حساب الطاقة التي يحررها تفاعل الاندماج ذو المعادلة:

معطيات: طاقة الربط المتوسطة لنوية للنوبادات:

$$\frac{E_\ell}{A}(^4_2\text{He}) = 7,0 \text{ MeV / nucléon} \quad / \quad \frac{E_\ell}{A}(^3_1\text{H}) = 2,8 \text{ MeV / nucléon} \quad / \quad \frac{E_\ell}{A}(^2_1\text{H}) = 1,2 \text{ MeV / nucléon}$$

$$\Delta E = E_\ell(^2_1\text{H}) + E_\ell(^3_1\text{H}) - E_\ell(^4_2\text{He}) \quad \text{الطاقة المحررة هي:}$$

$$\Delta E = (2 \times 1,2) + (3 \times 2,8) - (4 \times 7) \approx -17 \text{ MeV}$$

• أشكال الطاقة المحررة

تظهر الطاقة التي يحررها تفاعل نووي على الأشكال التالية:

- طاقة حرارية للنواتج (معظمها يتحول إلى طاقة حرارية)
- طاقة إشعاعية (طاقة الإشعاع γ)

تمرين

من بين نظائر الكربون نجد $^{14}_6\text{C}$ و $^{12}_6\text{C}$

1- أحسب بالنسبة لنواة $^{14}_6\text{C}$

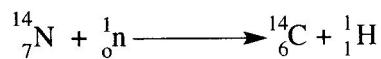
أ - النقص الكتلي Δm

ب - طاقة الريط E (MeV) بـ

ج - طاقة الريط بالنسبة لنواة $^{14}_6\text{C}$ بـ (MeV)

2 - طاقة الريط بالنسبة لنواة $^{12}_6\text{C}$ هي $E' = 7,68 \text{ MeV}$
استنتاج النواة الأكثر استقراراً من بين $^{12}_6\text{C}$ و $^{14}_6\text{C}$.

3 - يتكون الكربون 14 في الطبقات العليا للغلاف الجوي بعد اصطدام نوترون بالأزوت حسب المعادلة التالية :



أحسب طاقة هذا التفاعل .

4 - الكربون 14 اشعاعي النشاط β^- .

أ - أكتب معادلة تفتقذ الكربون 14 .

ب - أحسب الطاقة المحررة خلال هذا التفاعل .

$$m(^{12}\text{C}) = 11,9967 \text{ u} : \text{كتلة نواة } ^{12}_6\text{C}$$

$$m(^{14}\text{C}) = 13,9999 \text{ u} : \text{كتلة نواة } ^{14}_6\text{C}$$

$$m_n = 1,00866 \text{ u} : \text{كتلة النوترون}$$

$$m_p = 1,00728 \text{ u} : \text{كتلة البروتون}$$

$$m(^{14}\text{N}) = 13,9992 \text{ u} : \text{كتلة نواة } ^{14}_7\text{N}$$

$$m_e = 0,000549 \text{ u} : \text{كتلة الالكترون}$$

$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ Mev.c}^{-2}$$