

طاقة النواة

I. التكافؤ كتلة-طاقة

• طاقة الكتلة

تمثل الكتلة شكلا من أشكال الطاقة يسمى طاقة الكتلة.
طاقة الكتلة هي الطاقة التي يتوفر عليها كل جسم - حتى ولو كان في سكون-

خاصية

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

بسبب كتلته فقط و تعبيرها:
حيث c سرعة انتشار الضوء:

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

- إذا كان الجسم في حركة فإنه يتوفر علاوة على ذلك، على طاقة حركية.
- يترتب عن هذه العلاقة أن كل تغير يحصل في طاقة مجموعة يقابله تغير في كتلتها، والعكس

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

صحيح.العلاقة بين التغيرين هي:

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

$$1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6.10^{-13} \text{ J}$$

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

مثال: طاقة الكتلة لبروتون كتلته $m_p = 1,673.10^{-27} \text{ kg}$ هي:

$$E = 1,673.10^{-27} \times (3.10^8)^2 = 1,5.10^{-10} \text{ J}$$

$$E = \frac{1,5.10^{-10}}{1,6.10^{-13}} = 937,5 \text{ MeV}$$

II. طاقة الربط لنواة

• النقص الكتلي

تجريبيا يلاحظ أن كتلة نواة الذرة هي دائما أصغر من مجموع كتل النويات المكونة لها.

الفرق بينهما يسمى النقص الكتلي للنواة، و تعبيره:

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

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



تعريف

$$\Delta m > 0$$

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

$$1u = \frac{1}{12} \times m\left({}^{12}_6\text{C}\right) = \frac{M\left({}^{12}_6\text{C}\right)}{12 \times N_A} = 1,66054.10^{-27} \text{ kg}$$

• **مثال:** النقص الكتلي لنواة الهليوم ${}^4_2\text{He}$ هو: $\Delta m = 5,038 \cdot 10^{-29} \text{ Kg}$

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

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

تستعمل أيضا وحدة أخرى للكتلة و هي MeV / c^2 بحيث:

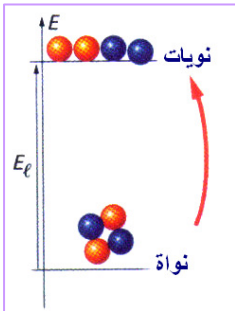
• طاقة الربط لنواة

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

تعريف

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

سكون. و تعبيرها هو:



عكسيا حين تتكون نواة انطلاقا من نويات منفصلة تتحرر الطاقة E_ℓ .

• **مثال:** طاقة الربط لنواة الهليوم ${}^4_2\text{He}$ هي:

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

• طاقة الربط لنوية

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

هي طاقة الربط المتوسطة لنوية و تساوي النسبة التالية:

تعريف

• **مثال:** طاقة الربط لنوية تمثل الطاقة الضرورية لانتزاع نوية واحد من النواة.

و تستعمل لمقارنة النويدات من حيث استقرارها: كلما كانت مرتفعة كلما كانت النواة مستقرة أكثر.

• **مثال:**

$$\frac{E_\ell}{A} = \frac{492}{56} = 8,79 \text{ MeV} / \text{nucléon} \quad \leftarrow \quad E_\ell = 492 \text{ MeV} \quad \text{هي: } {}^{56}_{26}\text{Fe} \text{ نواة الحديد}$$

$$\frac{E_\ell}{A} = \frac{1802}{238} = 7,57 \text{ MeV} / \text{nucléon} \quad \leftarrow \quad E_\ell = 1802 \text{ MeV} \quad \text{هي: } {}^{238}_{92}\text{U} \text{ نواة اليورانيوم}$$

نواة الحديد 56 أكثر استقرارا من نواة اليورانيوم 238.

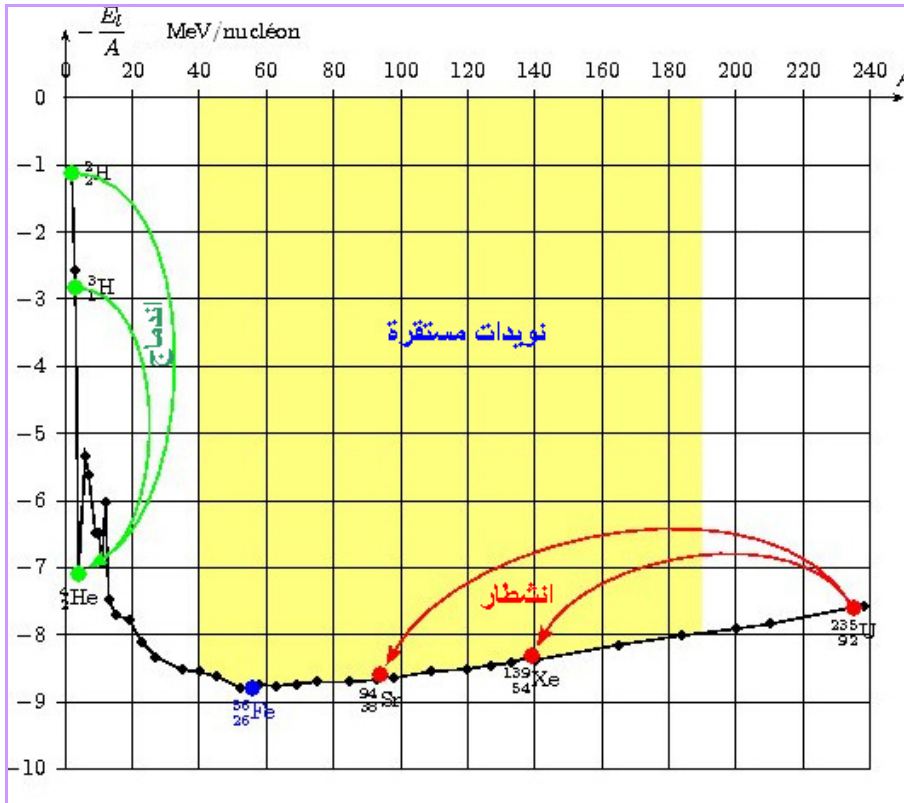
• منحنى "أسطون"

تتغير طاقة الربط المتوسطة لنوية بدلالة عدد الكتلة A للنواة.

يمثل منحنى أسطون تغيرات مقابل طاقة الربط المتوسطة لنوية 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 لنوية.



أهمية المنحنى:

- يمكن المنحنى من مقارنة النويدات من حيث استقرارها:
- في المجال $40 \leq A \leq 190$ تقع النويدات المستقرة التي لها طاقة ربط متوسطة عليا: $E_b/A \approx 8 \text{ MeV / nucléon}$
- على طرفي المبيان تقع النويدات الأقل استقرارا و هي نوعان:
 - نويدات ثقيلة يمكنها أن تنشط إلى نواتين أخف منها و أكثر استقرارا مع تحرير طاقة.
 - نويدات خفيفة يمكنها أن تدمج لتعطي نويدة أثقل منها مع تحرير طاقة.

III. الانشطار و الاندماج النووي

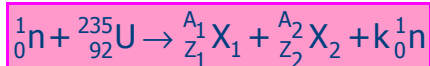
• الانشطار النووي

هو تفاعل نووي محرّض خلاله تنقسم نواة ثقيلة و قابلة للانشطار إلى نواتين خفيفتين وذلك تحت تأثير اصطدامها بنوترون حركية لا تتعدى $0,1 \text{ MeV}$ (ما يسمى بنوترون حراري). هذا التفاعل ناشر للطاقة.

تعريف

• انشطار اليورانيوم 235

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



عموما العدد k يتراوح بين 1 و 3 نوترونات.

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

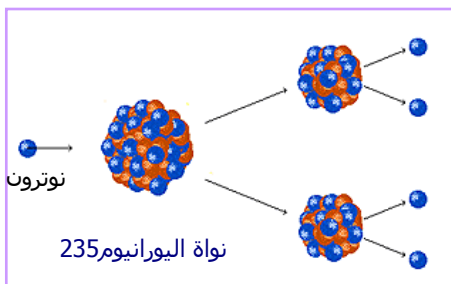
قانونا الانحفاظ يفرضان العلاقتين التاليتين:

• 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.

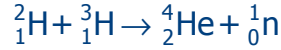


• الاندماج النووي

تعريف

هو تفاعل نووي محرّض خلاله تندمج نواتان خفيفتان فتنج نواة أثقل.
و هو تفاعل ناشر للطاقة.
هذا التفاعل لا يحدث إلا عند درجة حرارة مرتفعة جدا (10^8 K) لذلك فهو يسمى تفاعلا نوويا حراريا.

•مثال: اندماج نظائر الهيدروجين الذي هو مصدر طاقة الشمس:

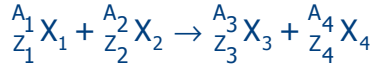


IV. حصيلة الكتلة و الطاقة

• الطاقة التي يحررها تفاعل نووي

• تعبيرها باستعمال تناقص الكتلة

الطاقة التي يحررها تفاعل نووي معادلته:



توافق تناقص الكتلة الإجمالية Δm للمجموعة و تعبيرها هو:

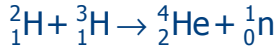
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

حيث:

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

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

•مثال: لنحسب الطاقة التي يحررها تفاعل الاندماج ذو المعادلة:



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

تناقص الكتلة الإجمالية هو:

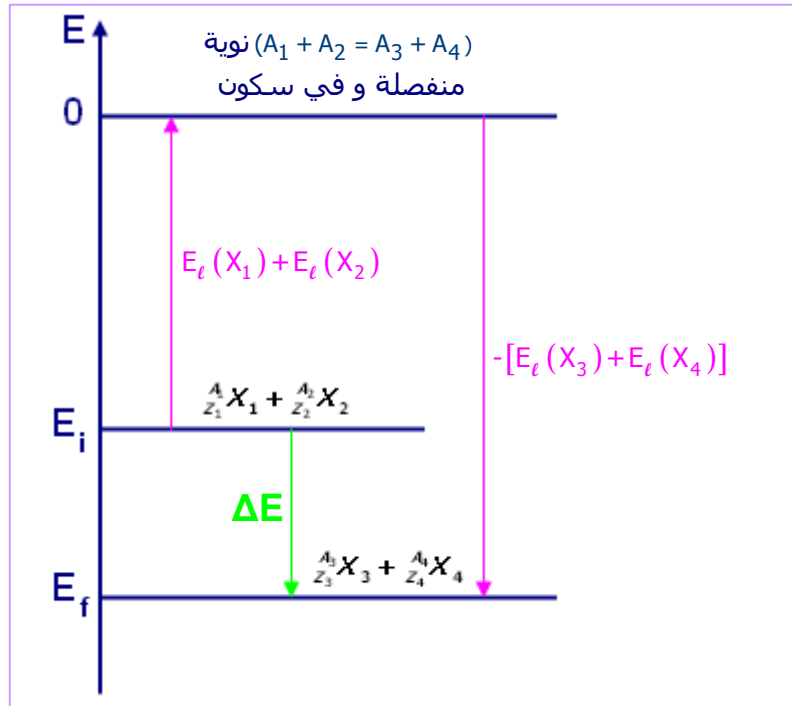
$$\Delta m = (m_{{}^4_2\text{He}} + m_n) - (m_{{}^2_1\text{H}} + m_{{}^3_1\text{H}}) = - 0,018 \text{ u}$$

و الطاقة المحررة هي:

$$\Delta E = - 0,018 \times 931,5 \approx - 17 \text{ MeV}$$

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

• تعبيرها باستعمال طاقات الربط



من هذا المخطط نستنتج ما يلي:



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

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

معطيات: طاقة الربط المتوسطة لنوية للنويدات:

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

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

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

• أشكال الطاقة المحررة

تظهر الطاقة التي يحررها تفاعل نووي على الأشكال التالية:

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