4 طاقة النواة

I. التكافؤ كتلة-طاقة

- طاقة الكتلة

خاصية

تمثل الكتلة شكلا من أشكال الطاقة يسمى طاقة الكتلة.

طاقة الكتلة هي الطاقة التي يتوفر عليها كل جسم - حتى و لو كان في سكون-

بسبب كتلته فقط و تعبيرها: $E = mc^2$ (J)

حيث c سرعة انتشار الضوء: $c = 3.10^8\ m.s^{-1}$

- 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 صحيح.العلاقة بين التغيرين هي: $\Delta E = \Delta m.c^2$

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

أو مضاعفها "الميغا إلكترون – فولط"(MeV): $1\ eV = 1,6.10^{-19}\ J$ ، $1\ MeV = 10^6\ eV = 1,6.10^{-13}\ J$

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

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

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

II. طاقة الربط لنواة

- النقص الكتلي

تعريف

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

الفرق بينهما يسمى النقص الكتلي للنواة، و تعبيره:

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

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):

$$1u = \frac{1}{12} \times m\left({}^{12}_{6}C\right) = \frac{M\left({}^{12}_{6}C\right)}{12 \times N_A} = 1,66054.10^{-27}\ kg$$

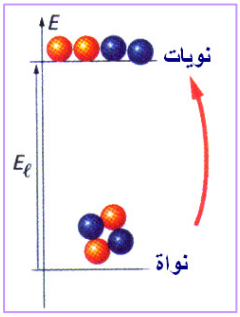
▪مثال: النقص الكتلي لنواة الهليوم ^4_2He هو: $\Delta m = 5{,}038.10^{-29}\ Kg$

أي: $\Delta m = \dfrac{5{,}038.10^{-29}}{1{,}66054.10^{-27}} = 0{,}03034\ u$

تستعمل أيضا وحدة أخرى للكتلة و هي MeV/c^2 بحيث: $\boxed{1\ u = 931{,}5\ MeV/c^2}$

- طاقة الربط لنواة

تعريف هي الطاقة اللازم منحها لنواة في حالة سكون لتفتيتها إلى نويات منفصلة و في سكون. و تعبيرها هو: $\boxed{E_\ell = \Delta m \cdot c^2}$



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

▪مثال: طاقة الربط لنواة الهليوم ^4_2He هي:

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

- طاقة الربط لنوية

تعريف هي طاقة الربط المتوسطة لنوية و تساوي النسبة التالية: $\boxed{\dfrac{E_\ell}{A}}$

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:

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

- طاقة الربط لنواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ هي: $E_\ell = 1\,802\ MeV \leftarrow \dfrac{E_\ell}{A} = \dfrac{1\,802}{238} = 7{,}57\ MeV/nucléon$

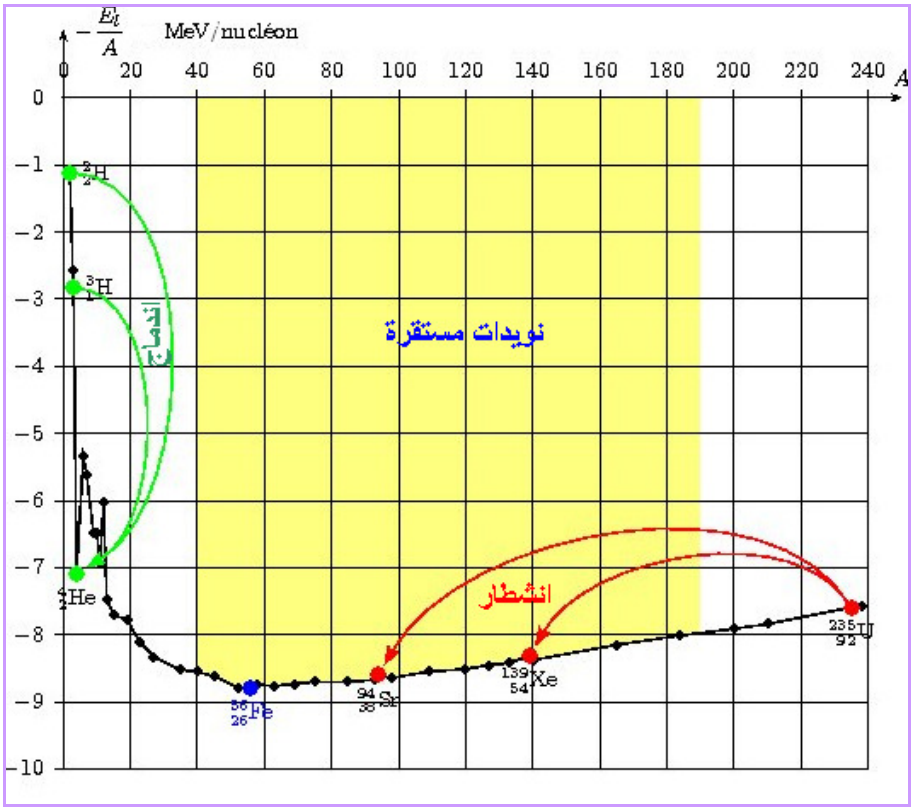
نواة الحديد 56 أكثر استقرارا من نواة اليورانيوم 238.

- 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.



<u>أهمية المنحنى:</u>

يمكن المنحنى من مقارنة النويدات من حيث استقرارها:

- في المجال $40 \le A \le 190$ تقع النويدات المستقرة التي لها طاقة ربط متوسطة عليا:
  $E_\ell / A \approx 8\,MeV / nucléon$
- على طرفي المبيان تقع النويدات الأقل استقرارا و هي نوعان:
  - نويدات ثقيلة يمكنها أن تنشطر إلى نواتين أخف منها و أكثر استقرارا مع تحرير طاقة.
  - نويدات خفيفة يمكنها أن تندمج لتعطي نويدة أثقل منها مع تحرير طاقة.

III. الانشطار و الاندماج النوويان

• الانشطار النووي

تعريف

هو تفاعل نووي محرَّض خلاله تنقسم نواة ثقيلة و قابلة للانشطار إلى نواتين خفيفتين وذلك تحت تأثير اصطدامها بنوترون طاقته الحركية لا تتعدى 0,1 MeV (ما يسمى نوترونا حراريا).هذا التفاعل ناشر للطاقة.

• انشطار اليورانيوم 235

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

$$^1_0n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 + k\,{}^1_0n$$

عموما العدد k يتراوح بين 1 و 3 نوترونات.

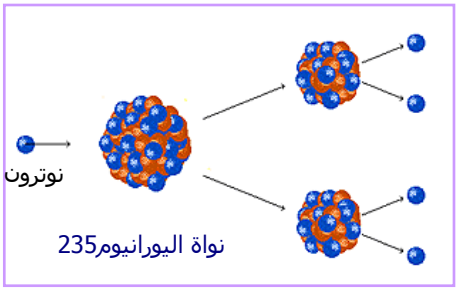
قانونا الانحفاظ يفرضان العلاقتين التاليتين:

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

<u>مثال:</u>

$$^1_0n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{95}_{38}Sr + {}^{139}_{54}Xe + 2\,{}^1_0n$$

• التفاعل المتسلسل



يمكن للنوترونات المنبعثة خلال انشطار أن تحدث بدورها انشطار نوى أخرى. إذا كان عدد النوترونات المنبعثة خلال كل انشطار أكبر من1فإنه يحدث تفاعل متسلسل.

- الاندماج النووي

تعريف

هو تفاعل نووي محرَّض خلاله تندمج نواتان خفيفتان فتنتج 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:

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

IV. حصيلة الكتلة و الطاقة

- الطاقة التي يحررها تفاعل نووي

▪ تعبيرها باستعمال تناقص الكتلة

الطاقة التي يحررها تفاعل نووي معادلته: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$

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

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

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

▪ مثال: لنحسب الطاقة التي يحررها تفاعل الاندماج ذو المعادلة: $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$

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

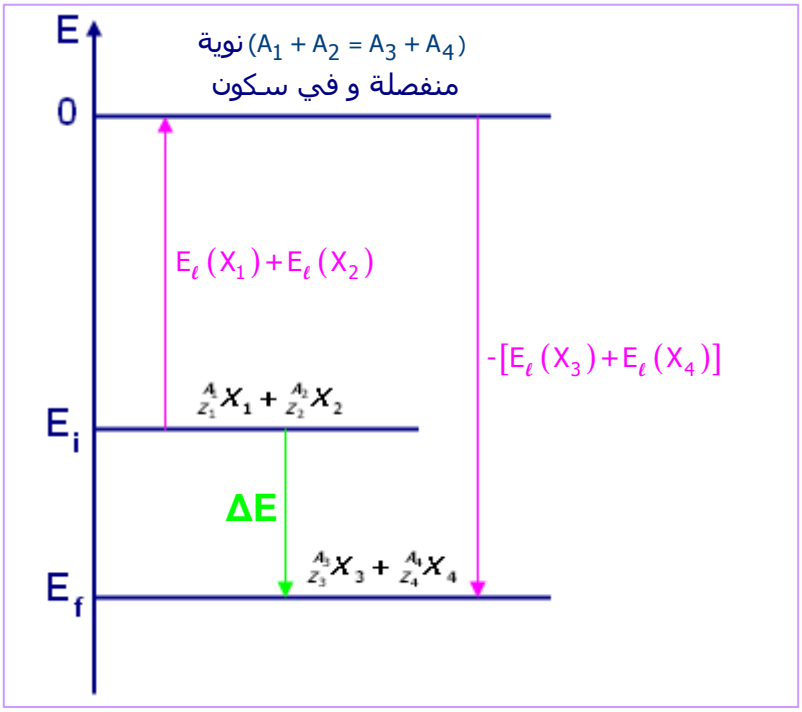
تناقص الكتلة الإجمالية هو: $\Delta m = (m_{^{4}_{2}He} + m_n) - (m_{^{2}_{1}H} + m_{^{3}_{1}H}) = -0,018\ u$

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

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

▪ تعبيرها باستعمال طاقات الربط

ننجز مخططا طاقيا لتفاعل نووي معادلته: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$



من هذا المخطط نستنتج ما يلي:

الطاقة التي يحررها تفاعل نووي معادلته: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$

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

▪ مثال: لنعد حساب الطاقة التي يحررها تفاعل الاندماج ذو المعادلة: $^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$

معطيات: طاقة الربط المتوسطة لنوية للنويدات:

$$\frac{E_\ell}{A}(^4_2He) = 7{,}0\ MeV/nucléon \quad / \quad \frac{E_\ell}{A}(^3_1H) = 2{,}8\ MeV/nucléon \quad / \quad \frac{E_\ell}{A}(^2_1H) = 1{,}2\ MeV/nucléon$$

الطاقة المحررة هي: $\Delta E = E_\ell(^2_1H)+E_\ell(^3_1H)-E_\ell(^4_2He)$

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

• 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)

تمرين

من بين نظائر الكربون نجد $^{12}_{6}C$ و $^{14}_{6}C$

1- أُحسب بالنسبة لنواة $^{14}_{6}C$

أ – النقص الكتلي Δm.

ب – طاقة الربط E_ℓ (بـ MeV).

ج – طاقة الربط بالنسبة لنوية $\mathscr{E}$ بـ (MeV)

2 - طاقة الربط بالنسبة لنوية للنواة $^{12}_{6}C$ هي $\mathscr{E}' = 7,68\ MeV$

استنتج النواة الأكثر استقرارا من بين $^{12}_{6}C$ و $^{14}_{6}C$.

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

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{o}n \longrightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$$

أُحسب طاقة هذا التفاعل .

4 - الكربون 14 اشعاعي النشاط β^- .

أ – أُكتب معادلة تفتت الكربون 14 .

ب – أُحسب الطاقة المحررة خلال هذا التفاعل.

نعطي : كتلة نواة $^{14}_{6}C$: $m(^{14}C) = 13,9999\ u$

كتلة نواة $^{12}_{6}C$: $m\ (^{12}C)=11,9967\ u$

كتلة البروتون : $m_p = 1,00728\ u$

كتلة النوترون : $m_n = 1.00866\ u$

كتلة الالكترون : $m_e = 0,000549\ u$

كتلة نواة $^{14}_{7}N$: $m\ (^{14}N) = 13,9992u$

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