النوى، الكتلة و الطاقة
Noyau, masse et énergie

I ـ التكافؤ: كتلة الطاقة

1 ـ علاقة أنشتاين: Einstein

تمتلك كل مجموعة كتلتها m ، في حالة سكون، طاقة E تسمى طاقة الكتلة تعبيرها هو: $E = m.C^2$

C : سرعة الضوء؛ $C = 3.10^8 m.s^{-1}$

m : كتلة المجموعة يعبر عنها بـ Kg ؛

E : طاقة المجموعة يعبر عنها بالجول.

عندما تتغير كتلة المجموعة ب Δm خلال تحول ما، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو: $\Delta E = \Delta m.C^2$

$(\Delta m > 0)$.

2 ـ وحدات الطاقة والكتلة.

أ ـ وحدة الكتلة الذرية u : Unité atomique

تساوي وحدة الكتلة الذرية u ، $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12 : $1u = \frac{M(C)}{12.N_A}$

أي: $1u = 1{,}66054.10^{-27} Kg$

مثال: كتلة البروتون: $m_p = 1{,}00727u$

كتلة النوترون: $m_n = 1{,}00867u$

ب ـ وحدة الطاقة: الإلكترون ـ فولط: Electron – volt

في الفيزياء النووية، الجول J وحدة غير ملائمة للطاقة، لذلك يفضل استعمال الإلكترون – فولط (eV) ومضاعفتها ميغاإلكترون ـ فولط (MeV) بحيث:

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

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

ج ـ الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u

نستعمل وحدة عملية أخرى للكتلة: $\frac{MeV}{C^2}$

بحيث: $1u = 931{,}5\ MeV/C^2$

II ـ طاقة الربط: Energie de liaison

1 ـ النقص الكتلي: Défaut de masse

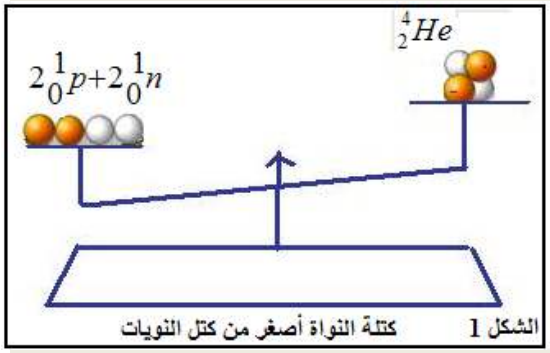
النقص الكتلي Δm لنواة رمزها ${}^{Z}_{A}X$ هو الفرق بين مجموع كتلة النويات وكتلة النواة.

$$\Delta m = Zm_P + (A-Z)m_n - m({}^{A}_{Z}X)$$

$(\Delta m > 0)$

أمثلة:

النواة	كتلتها (Kg)	مجموع كتل نوياتها
${}^{4}_{2}He$	$6{,}6447.10^{-27}$	$6{,}6950.10^{-27}$
${}^{12}_{6}C$	$1{,}9921.10^{-26}$	$1{,}0085.10^{-26}$
${}^{17}_{8}O$	$2{,}8220.10^{-26}$	$2{,}8455.10^{-26}$



الشكل 1 كتلة النواة أصغر من كتل النويات

2 ـ طاقة الربط

طاقة الربط E_ℓ لنواة ${}^{Z}_{A}X$ هي الطاقة التي يجب إعطاؤها لنواة في حالة سكون لفصل نوياتها وتبقى هذه الأخيرة في سكون.

$$E_\ell = \Delta m.C^2$$

Δm: النقص الكتلي؛

C : سرعة انتشار الضوء في الفراغ.

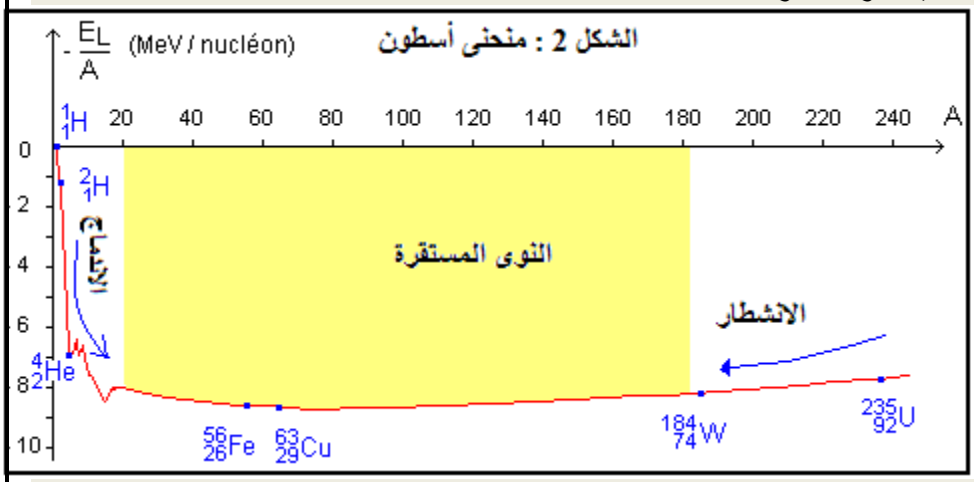
تطبيق:
احسب طاقة الربط لنواة الكلور $^{35}_{17}C\ell$
نعطي:
- ✓ كتلة البروتون: $m_p = 1{,}00727u$
- ✓ كتلة النوترون: $m_n = 1{,}00867u$
- ✓ كتلة نواة الكلور: $m(C\ell) = 35{,}27132u$
- ✓ $1u = 931{,}5MeV/C^2$

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3 ـ طاقة الربط بالنسبة لنوية
تعرف طاقة الربط بالنسبة لنوية بالعلاقة: $\xi = \frac{E_\ell}{A}$
E_ℓ: طاقة الربط للنواة؛
A : عدد النويات.
وحدة طاقة الربط بالنسبة لنوية هي: MeV/nucléon
تطبيق:
احسب طاقة الربط لنوية نواة ذرة الكلور: $^{35}_{17}C\ell$

.....
.....
.....

4 ـ منحنى أسطون: (Aston)
منحنى أسطون هو تمثيل تغيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية بدلالة عدد النويات $-\frac{E_\ell}{A} = f(A)$ أي: $-\xi = f(A)$
تمكن هذه الدالة من مقارنة استقرار النوى حيث توجد النوى الأكثر استقرارا في الأسفل.



استثمار:
1 ـ حدد منطقة النوى الأكثر استقرارا.
2 ـ رتب النوى التالية حسب استقرارها:
$^{235}_{92}U$ ، $^{56}_{26}Fe$ ، ^4_2He

.....
.....
.....
.....
.....

بالنسبة لـ:
- ➢ $A < 20$ تتناقص قيم ξ- بحدة كلما زادت قيمة A .
- ➢ $20 < A < 195$ يضم هذا الجزء من المنحنى قيما دُنيا لـ ξ- ويقابل النوى الأكثر استقرارا مثل الحديد $^{56}_{26}Fe$ والنوى المحيطة.
- ➢ $A > 195$ تزداد قيم ξ- ببطئ كلما زادت قيمة A وتكون النويدات المقابلة أقل استقرارا.

III ـ الحصيلة الكتلية والطاقية لتفاعل نووي.

1 ـ الحالة العامة

المعادلة العامة لتفاعل نووي: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$
X : رمز نواة أو دقيقة.
لتكن ΔE طاقة التفاعل: $\Delta E = E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2) - E_\ell(X_3) - E_\ell(X_4)$
$E_\ell(X_i)$: طاقة الربط للنواه X_i .
- ✓ $\Delta E < 0$: يكون التفاعل ناشرا للحرارة.
- ✓ $\Delta E > 0$: يكون التفاعل ماصا للحرارة.

حسب تعبير طاقة الربط، يصبح تعبير ΔE على الشكل التالي:

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

$\Delta E = \Delta m.c^2 = [\ m(\text{النواتج}) - m(\text{المتفاعلات})\ ].c^2$

2 ـ تطبيقات على التحولات النووية التلقائية.

بالنسبة للتحولات النووية التلقائية تكون $\Delta E < 0$ ونرمز لها ب E وتسمى الطاقة المحررة.

أ ـ النشاط الإشعاعي α:

معادلة التفتت α هي: $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{A-4}_{Z-2}Y$

الطاقة المحررة: $\Delta E = \left[m(Y) + m(He) - m(X)\right]c^2$

أ ـ النشاط الإشعاعي β^-:

معادلة التفتت β^- هي: $^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{A}_{Z+1}Y$

الطاقة المحررة: $\Delta E = \left[m(Y) + m(e^-) - m(X)\right]c^2$

أ ـ النشاط الإشعاعي β^+:

معادلة التفتت β^+ هي: $^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$

الطاقة المحررة: $\Delta E = \left[m(Y) + m(e^+) - m(X)\right]c^2$

تمرين تطبيقي:

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

1 ـ احسب بالنسبة لنواة $^{14}_{6}C$:

أ ـ النقص الكتلي Δm .

ب ـ طاقة الربط E_ℓ (ب MeV).

ج ـ طاقة الربط بالنسبة لنوية ع (ب MeV).

2 ـ طاقة الربط بالنسبة لنوية للنواة $^{12}_{6}C$ هي ع' = 7,68 MeV ، استنتج النواة الأكثر استقرارا من بين $^{12}_{6}C$ و $^{14}_{6}C$

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

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

احسب طاقة هذا التفاعل.

4 ـ الكربون 14 إشعاعي النشاط β^- .

أ ـ اكتب معادلة تفتت الكربون 14.

ب ـ احسب الطاقة المحررة خلال هذا التفاعل.

نعطي:

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

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

كتلة البروتون: $m_p = 1,00728u$

كتلة النوترون: $m_n = 1,00866u$

كتلة الإلكترون: $m_e = 0,000549u$

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

$1u = 931,5\ MeVc^{-2}$