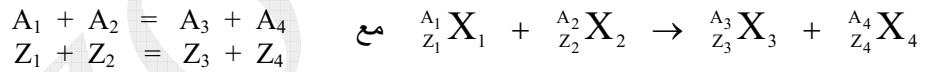


ما يجب أن أعرف حتى أقول : إنني استوعبت هذا الدرس

- ♦ يجب أن أعرف أنه يمكن تغيير تكوين نواة بواسطة قذفها بنيوترون .
- ♦ يجب أن أستوعب أن الكتلة تصاحبها طاقة تسمى طاقة الكتلة .
- ♦ يجب أن أعرف أن كتلة مكونات النواة وهي منفصلة في حالة الراحة أكبر من كتلتها وهي متماسكة في النواة .
- ♦ يجب أن أعرف سبب تماسك النواة رغم احتوائها على جسيمات متماثلة الشحنة (البروتونات) .
- ♦ يجب أن أعرف العلاقة التي تُعطي طاقة تماسك النواة E_l .
- ♦ يجب أن أتمكن من مقارنة استقرار الأنوية بواسطة طاقة التماسك لكل نوكلون $\frac{E_l}{A}$
- ♦ يجب أن أتمكن من قراءة منحني أستون (Aston)
- ♦ يجب أن أفهم سبب قابلية الأنوية للانشطار وقابليتها للاندماج .
- ♦ يجب أن أعرف أن في تفاعل نووي يمكن التقاط الطاقة بفعل اختلاف الكتلة قبل وبعد التفاعل .

ملخص الدرس

التحول النووي : هو تحول يتم على مستوى الأنوية ، بحيث تنحفظ الأعداد الكتلية للعناصر وأرقامها الذرية .



طاقة الكتلة E : هي الطاقة التي تصاحب الكتلة ، وتُعطى بعلاقة أينشتاين $E = m c^2$ ، حيث m : كتلة الجسم (kg) ، c : سرعة الضوء في الفراغ .

E : طاقة الكتلة (Joule) ، $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ (الإلكترون – فولت)

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$ (ميغا إلكترون – فولت)

النقص الكتلي Δm : هو الفرق بين كتلة النوكليونات منفصلة في حالة الراحة وكتلة النواة .

$$\Delta m = Z \times m_p + (A - Z) m_n - m_X$$

حيث : m_p : كتلة البروتون ، m_n : كتلة النيوترون ، m_X : كتلة النواة X

طاقة ارتباط نواة E_l : هي النقص في الكتلة المتحول إلى طاقة $E_l = \Delta m c^2$

طاقة التماسك لكل نوكلون : نعتبر طاقة تماسك النواة موزعة على كل النوكليونات ، فنعبّر عن طاقة التماسك لكل نوكلون بـ $\frac{E_l}{A}$ ،

حيث A : العدد الكتلي .

كلما كانت هذه الطاقة أكبر كلما كانت النواة أكثر استقرار .

منحنى أستون (Aston) : يمثل هذا المنحني تغيرات $\frac{E_l}{A}$ بدلالة A .

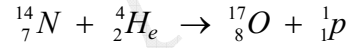
الاندماج النووي : هو تفاعل يحدث فيه اتحاد نواتين لتشكيل نواة أثقل منهما ، وتكون طاقة التماسك لكل نوكلين فيها أكبر مما في النواتين المندمجتين .

الانشطار النووي : هو تفاعل يحدث فيه انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين أخف منها ، وطاقة التماسك لكل نوكلين في كل واحدة أكبر مما في النواة المنشطرة .

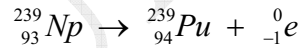
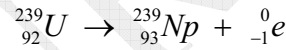
محتوى الدرس

1 - التحول النووي المفتعل :

على عكس التحول النووي الطبيعي الذي يحدث تلقائيا ، التحول النووي المفتعل يمكن القيام به في المفاعلات النووية .
أول تحول مفتعل تحقق في 1919 عندما قذف رذرفورد ذرات الآزوت بواسطة الجسيمات α :



يمكن لتحول مفتعل أن يتبع بتحويلات تلقائية ، مثل قذف نواة اليورانيوم 238 بواسطة نيترون : ${}^{238}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{239}_{92}U$
يتبع هذا التحول بتحويلات تلقائية منها :



- كل نواة مصنعة هي نواة مشعة حسب النمط α أو β^- أو β^+
- سواء كان التحول النووي طبيعيا أو مفتعلا فإن الأعداد الكتلية والأرقام الذرية تكون محفوظة :
 $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$
 $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

2 - طاقة الكتلة :

الدليل على وجود جسم هو امتلاكه كتلة . هذه الكتلة تُضفي على المادة طاقة تسمى طاقة الكتلة ، وهي طاقة الوجود .

هذا ما بيّنه العالم الفيزيائي والفيلسوف أنشتاين في العلاقة الرياضية : $E = m c^2$

m : كتلة الجسم (kg)

c : سرعة الضوء في الفراغ ($c \approx 3 \times 10^8$ m/s)

E : طاقة الكتلة (Joule)

نستعمل في هذا المجال وحدتين أخريين للتعبير عن الطاقة هما :

- الإلكترون فولط (eV) : $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

- الميغا إلكترون فولط (MeV) : $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$

المزيد : منشأ الوحدة إلكترون فولط :

(1) $E = U I \Delta t$ هي : الطاقة الكهربائية الناتجة في ناقل كهربائي خلال مدة زمنية Δt

(2) $Q = I \Delta t$ وكمية الكهرباء المارة في الناقل خلال هذه المدة هي :

(3) $E = U Q$ من (1) و (2) نستنتج :

لو استعملنا في العلاقة (3) U بالفولط و Q بالكولون لكانت E بالجول
 $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ ، ومنه : $1,602 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1 \text{ eV}$

مثال : ما هي الطاقة المرافقة لكتلة الإلكترون ؟

كتلة الإلكترون هي $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$$E = m c^2 = 9,11 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 = 82 \times 10^{-15} \text{ J} = 0,51 \text{ MeV}$$

3 - الوحدة الموحدة للكتلة :

ما دمنا نتعامل مع كتل صغيرة في هذا المجال ، نختار وحدة لقياس الكتل نسميها (u.m.a) : **unité de masse atomique**
أو اختصارا (u) بحيث : $1 \text{ u} = 1,66055 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

تعريف : وحدة الكتل الذرية (u) هي $\frac{1}{12}$ من كتلة نواة الكربون ^{12}C .

مثلا : كتلة البروتون $m_p = 1,6727 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، وبالتالي : $m_p = \frac{1,6727}{1,66055} = 1,0073 \text{ u}$

4 - النقص الكتلي :

لو أخذنا كمثال نواة الصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$ ، فهي تحتوي في نواتها على 11 بروتون و 11 نوترون .
بيّنت التجربة أن كتلة 11 بروتون + كتلة 11 نوترون أكبر من كتلة النواة ، وهذا ينطبق على باقي الأنوية الأخرى .

$$Z m_p + (A - Z) m_n - m_X > 0$$

m_p : كتلة البروتون

m_n : كتلة النوترون

m_X : كتلة النواة

هذا مثال تقريبي لكي نفهم أين يذهب هذا الفرق في الكتلة :

لدينا مجموعة من الأشخاص طرق معيشتهم تختلف في كثير من النقط . اقتضت الضرورة أن يسافروا في بعثة بحيث يتحتم عليهم أن يشتركوا في إعاشتهم . إن وجودهم في هذه الحالة يحتم على كل واحد أن يتنازل عن قليل من عاداته التي لا يحتملها الآخرون حتى يمكن له أن يتعايش في الجماعة .

أين ذهبت كل هذه التنازلات ؟ لقد تحولت إلى رابط يمسك أفراد هذه الجماعة إلى بعضهم البعض .

عندما يعودون من سفرهم ، لو عاد كل واحد إلى طريقة تفكيره الأولى ، بدون شك ستتفرق الجماعة .

هذا ما يحدث عندما نجمع النوكليونات في النواة ، تنقص الكتلة لتتحول إلى طاقة تجعل المكونات متماسكة مع بعضها .

الطاقة الناتجة هي : $E = \Delta m c^2$ (طبعاً ما هذا إلا شرح سطحي يوافق مستوى السنة الثالثة ثانوي)

5 - طاقة تماسك النواة :

هي الطاقة المنبعثة من كتل النوكليونات عند تماسكها وهي التي تضمن تماسك النواة . وبتعريف آخر هي الطاقة التي يوفرها الوسط الخارجي لفصل النوكليونات عن بعضها وهي متماسكة في النواة . تعطى هذه الطاقة بالعلاقة :

$$E_l = (Z m_p + (A - Z) m_n - m_X) c^2$$

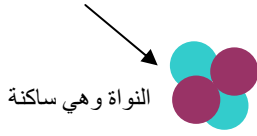
m_p : كتلة البروتون

m_n : كتلة النوترون

m_X : كتلة النواة

c : سرعة الضوء في الفراغ (ثابت أينشتاين)

نقدّم للنواة أقل طاقة خارجية E_l
لفك النوكليونات عن بعضها



Z بروتون و $(A - Z)$ نوترون
كتلة الجملة هي كتلة النواة

تفكيك



النوكليونات وهي ساكنة

النوكليونات منفردة

كتلة الجملة هي كتلة Z بروتون و $(A - Z)$ نوترون

تزداد الكتلة بـ Δm ، فتزداد طاقة الجملة بـ $E = \Delta m c^2$

والعكس هو عندما تتشكل النواة ابتداء من النوكليونات الحرة ، فإن الوسط الخارجي يُقدّم الطاقة $E = |\Delta m| c^2$ ، لأن $\Delta m < 0$.

مثال : تُعطى كتلة البروتون $m_p = 1,6727 \times 10^{-27} \text{ kg}$ و كتلة النوترون $m_n = 1,6750 \times 10^{-27} \text{ kg}$ وكتلة نواة الهيدروجين الثقيل

^2_1H : $m = 3,3435 \times 10^{-27} \text{ kg}$. احسب طاقة تماسك نواة هذا النظير .

تحتوي النواة على بروتون واحد ونوترون واحد ومنه : $E_l = (m_p + m_n - m_x) c^2 = 37,8 \times 10^{-14} \text{ J} = 2,36 \text{ MeV}$

6 - طاقة التماسك لكل نوكليون :

نعتبر الآن الطاقة التي يمكن بذلها لفك نوكليون واحد من النواة ، وهذه الطاقة هي $\frac{E_l}{A}$ ، مع اعتبار أن الطاقة E_l موزعة على كل

النوكليونات في النواة .

كلما كانت طاقة التماسك لكل نوكليون في النواة أكبر كلما كانت النواة أكثر استقرار .

لو نظرنا إلى القائمة في الجدول نلاحظ على سبيل المثال طاقة تماسك نواة اليورانيوم أكبر من طاقة تماسك نواة الحديد ، رغم أن نواة الحديد أكثر استقرار من نواة اليورانيوم لأن طاقة التماسك لكل نوكليون في نواة الحديد أكبر من طاقة التماسك لكل نوكليون في نواة اليورانيوم .

النواة	^1_1H	^2_1H	^3_1H	^3_2He	^4_2He	^6_3Li	^7_3Li	$^{56}_{26}\text{Fe}$	$^{238}_{92}\text{U}$
E_l (MeV)	0	2,30	8,49	6,66	28,28	32,10	38,85	492,24	1801,66
$\frac{E_l}{A}$ (MeV)	0	1,15	2,83	2,22	7,07	5,35	5,55	8,79	7,57

ملاحظة : نلاحظ في الجدول أن نواة الهيليوم ^4_2He هي أصغر نواة ذات استقرار كبير جدا ، وهذا ما يفسر إنبعثات هذه الأنوية في نمط

الإشعاع α ، ولا تنبعث أنوية مثل ^3_2He أو ^6_3Li .

إليك هذا المثال : عائلة أحمد دخلها الشهري 8 ملايين سنتيم أما عائلة خالد دخلها الشهري 4 ملايين سنتيم شهريا . يبدو لك لأول وهلة أن عائلة أحمد ميسورة الحال أكثر من عائلة خالد . لكن كيف سيكون رد فعلك لو قلت لك أن عدد أفراد عائلة أحمد هو 11 فردا ، أما عدد أفراد عائلة خالد 3 أفراد ... طبعا ستغير رأيك لأن نصيب كل فرد في عائلة خالد يصبح أكبر من نصيب الفرد في عائلة أحمد ، وهذا ما يجعل عائلة خالد أكثر استقرارا .

7 - منحنى أستون (Aston)

الأنوية المستقرة هي الأنوية التي طاقة تماسكها لكل نوكليون حوالي 8 MeV (موجودة حسابيا)

نستعمل عادة نظير قيمة طاقة التماسك لكل نوكليون ، أي $-\frac{E_l}{A}$

والتي تمثل الطاقة اللازمة لنزع نوكليون من النواة .

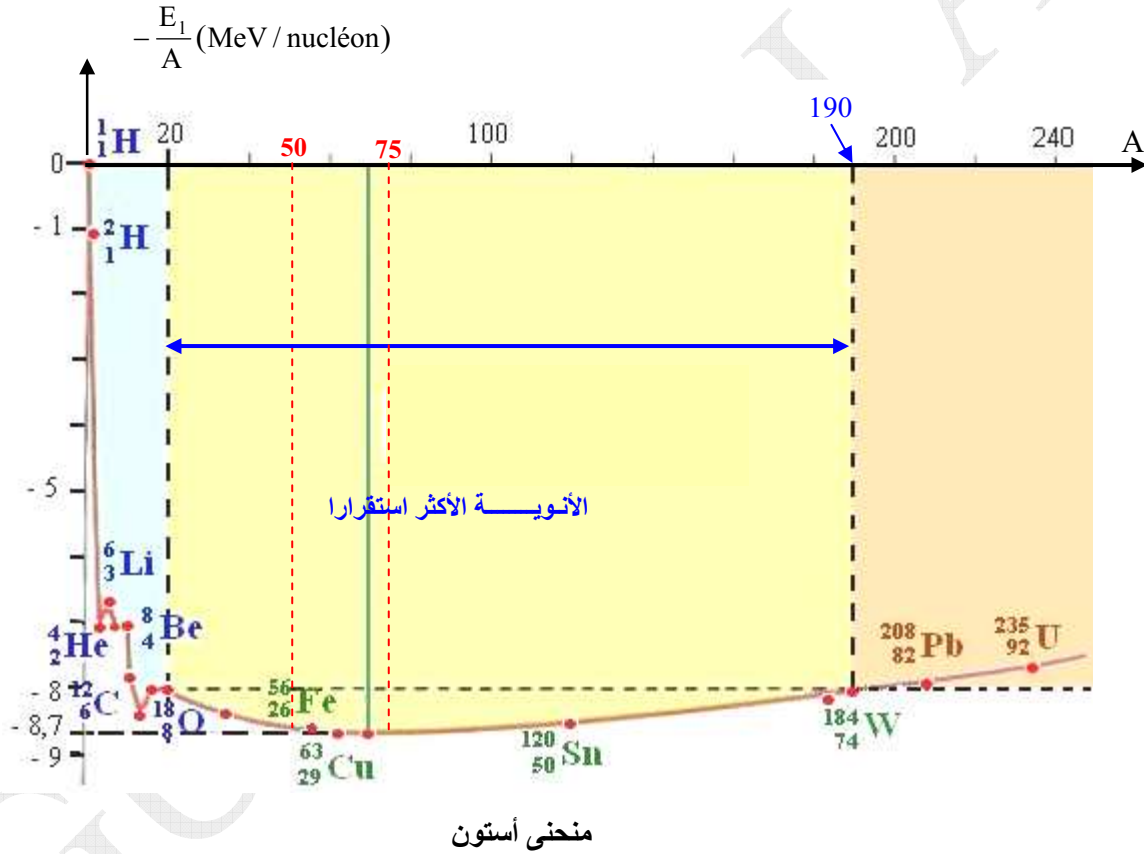
منحنى أستون يدرس تغيرات هذه الطاقة بدلالة العدد الكتلي A .

50 < A < 75 : نلاحظ على منحنى أستون نهاية صغرى توافق طاقة ارتباط لكل نوكليون قدرها 8,7 MeV

الأنوية المحصورة في هذا المجال تملك طاقة تماسك لكل نوكليون قيمتها المتوسطة حوالي 8,7 MeV . هذه الأنوية هي الأكثر استقرار من بينها النحاس 63 والحديد 56 .

A > 100 : البيان يتصاعد ببطء عندما تزداد قيم A ، هذا المجال يوافق الأنوية الثقيلة ، وهي أنوية قليلة الاستقرار ($\frac{E_l}{A} < 8 \text{ MeV}$)

1 < A < 20 : الأنوية في هذا المجال أقل استقرارا (أنوية خفيفة) لأن $\frac{E_l}{A} < 8 \text{ MeV}$.

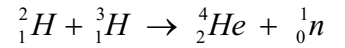
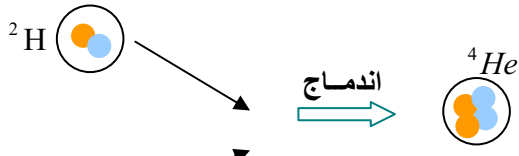


ملاحظة

توجد على منحنى أستون فقط الأنوية الطبيعية (الأنوية الموجودة في الطبيعة) ، وتوجد أنوية بجوار منحنى أستون فوقه وأسفله ، حيث أن هذه الأنوية الأخيرة كلها اصطناعية .

8 - الاندماج النووي :

يمكن لنواتين خفيفتين في تصادم أن تندمجا مكونة نواة واحدة لها طاقة ارتباط لكل نوكلون أكبر مما في النواتين المندمجتين
مثال :

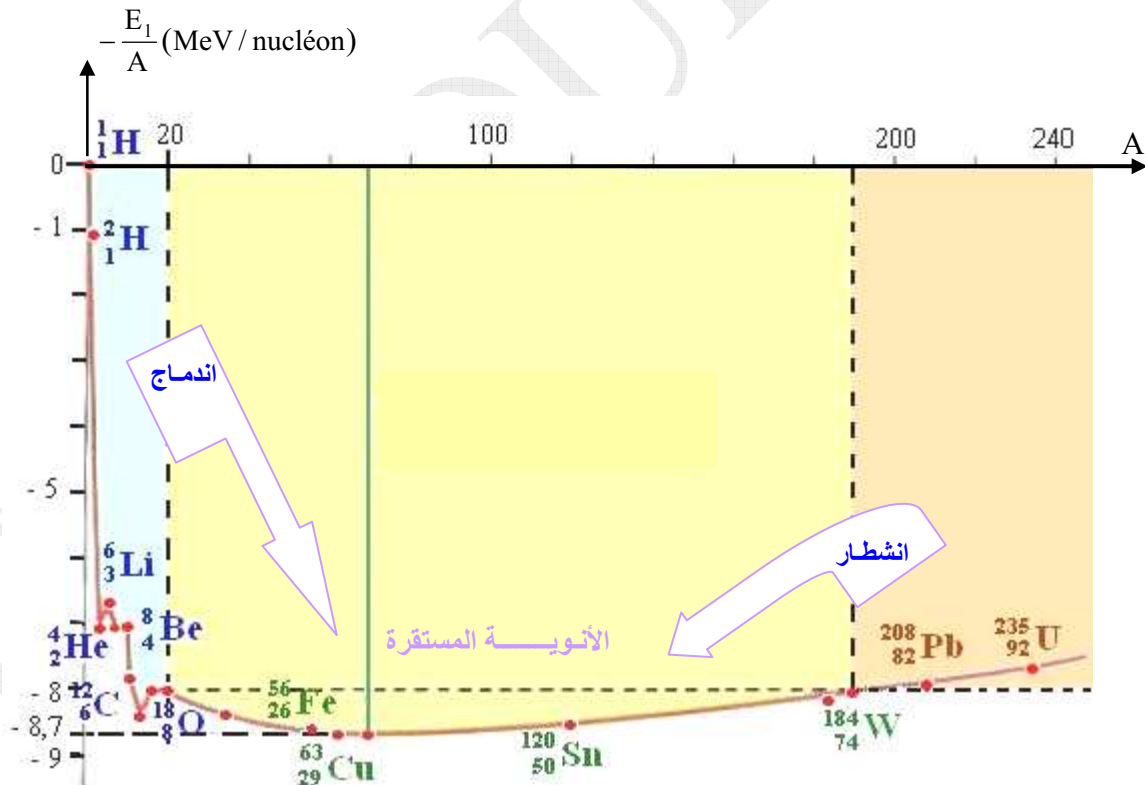
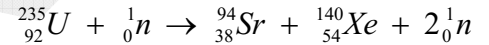


الطاقة المتحررة في هذا التفاعل هي حوالي 17 MeV
طاقة التماسك لكل نوكلون في النواة الناتجة أكبر من طاقة التماسك لكل نوكلون في كل من النواتين المندمجتين (انظر الجدول أعلاه)

9 - الانشطار النووي :

تُستعمل النيوترونات لقتف أنوية ثقيلة لحصول على أنوية (شظايا) أخف من النواة المنشطرة . سبب اختيار النيوترون في هذه العملية هو أن هذا الجسيم معتدل كهربائيا فلا يتنافر مع الأنوية .
الأنوية الناتجة عن الانشطار تكون أكثر استقرار من النواة المنشطرة .

مثال :



الأنوية الأقل استقرارا يمكن أن تتحول بطريقتين :

– الأنوية الثقيلة $A > 190$: يمكنها أن تنشط إلى نواتين خفيفتين نسبيا تنتميان لمجال الاستقرار .

– بعض الأنوية الخفيفة (مثل ^3_1H ، ^2_1H ، ^1_1H) : يمكنها أن تندمج لإعطاء نواة قريبة من مجال الاستقرار .

10 – الطاقة المحررة في تحوّل نووي

ليكن التحوّل النووي التالي : ${}_{Z_1}^{A_1}X_1 + {}_{Z_2}^{A_2}X_2 \rightarrow {}_{Z_3}^{A_3}X_3 + {}_{Z_4}^{A_4}X_4$ ، بحيث يمكن أن تكون X أنوية أو جسيمات ، ويمكن أن تكون هذه الجسيمات وهذه الأنوية في حالة الراحة أم تتحرك ، فإن :

$$m_1c^2 + E_{c1} + m_2c^2 + E_{c2} = m_3c^2 + E_{c3} + m_4c^2 + E_{c4}$$

$$\text{الآخر : } [(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)]c^2 = (E_{c3} + E_{c4}) - (E_{c1} + E_{c2})$$

الرمز Δ (Delta) يمثل القيمة النهائية ناقص القيمة الابتدائية ، وبذلك يكون $[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] = -\Delta m$

$$\text{أما } (E_{c3} + E_{c4}) - (E_{c1} + E_{c2}) = \Delta E_c$$

$$\text{وبالتالي : } \Delta m c^2 = -\Delta E_c \quad (1)$$

• إذا كان $\Delta m > 0$ ، أي كتلة النواتج أكبر من كتلة المتفاعلات ، فهذا يؤدي إلى أن $\Delta E_c < 0$ ، أي أن في هذا التحوّل النووي تحولت الطاقة الحركية إلى طاقة كتلة .

• إذا كان $\Delta m < 0$ ، أي كتلة النواتج أصغر من كتلة المتفاعلات ، فهذا يؤدي إلى أن $\Delta E_c > 0$ ، أي أن في هذا التحوّل النووي تحولت الكتلة إلى طاقة حركية .

$$E_{lib} = (m_i - m_f) c^2 \quad \text{الطاقة المحررة في تحوّل نووي هي}$$

m_i : الكتلة الابتدائية (مجموع كتل المتفاعلات)

m_f : الكتلة النهائية (مجموع كتل النواتج)

c سرعة الضوء في الفراغ (ثابت أينشتاين)

E_{lib} : الطاقة المحررة

ملاحظة :

ما هي الطاقة الناتجة عن تحوّل $1 u$ ؟ أي ما هي طاقة الكتلة الموافقة لكتلة قيمتها $m = 1 u = 1,66055 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ؟
الجواب :

$$E = mc^2 = 1,66055 \times 10^{-27} \times (2,9977 \times 10^8)^2 = 14,9220 \times 10^{-11} \text{ J}$$

$$E = \frac{14,922 \times 10^{-11}}{1,602 \times 10^{-13}} \approx 931,5 \text{ MeV} \quad \text{نحوّل هذه الطاقة إلى الميغايكترون فولط (MeV) :}$$

إذا عوّضنا في علاقة أينشتاين الكتلة m بـ $1 u$ ، وعوّضنا الطاقة E بـ $931,5 \text{ MeV}$ ، ولم نعوّض c . نكتب :

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

وجدنا وحدة جديدة للكتلة ، هي MeV/c^2 .

عندما نريد حساب طاقة تماسك نواة أو الطاقة المحررة في تحوّل نووي ، وتكون لدينا كتلة مقدرة بـ u .

مثلا $\Delta m = 1,3 u$. نكتب العلاقة $E = \Delta m c^2$.

$$\text{ولدينا } 1,3u = 1,3 \times 931,5 \text{ MeV} / c^2 \quad \text{، إذن } E = 1,3 \times 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2} \times c^2 = 1,3 \times 931,5 \text{ MeV}$$

وبالتالي إذا أردنا حساب الطاقة مقدرة مباشرة بـ MeV نضرب الكتلة مقدرة بـ u في العدد الثابت **931,5**

أما إذا أردنا حسابها مباشرة بـ **Joule** نضرب الكتلة مقدرة بـ **kg** في مربع سرعة الضوء في الفراغ مقدرة بـ **m/s** .

مثال 1

احسب الطاقة المحررة في التفاعل التالي : $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{149}_{58}\text{Ce} + ^{84}_{34}\text{Se} + 3^1_0\text{n}$

المعطيات : $m_n = 1,009 \text{ u}$ ، $m_U = 235,044 \text{ u}$ ، $m_{Se} = 83,918 \text{ u}$ ، $m_{Ce} = 148,928 \text{ u}$

$$(2) \quad E_{lib} = (m_i - m_f) c^2$$

$$m_f = (m_{Ce} + m_{Se} + 3 m_n) = 148,928 + 83,918 + 3 \times 1,009 = 235,873 \text{ u}$$

$$m_i = (m_U + m_n) = 235,044 + 1,009 = 236,053 \text{ u}$$

$$m_i - m_f = 236,053 - 235,873 = 0,18 \text{ u}$$

$$E_{lib} = 0,18 \times 931,5 = 167,7 \text{ MeV} : (2)$$

مثال 2

احسب الطاقة المتحررة في التفاعل التلقائي التالي : $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$

المعطيات : $m_{He} = 4,001 \text{ u}$ ، $m_{Rn} = 221,970 \text{ u}$ ، $m_{Ra} = 225,977 \text{ u}$

$$E_{lib} = (m_i - m_f) c^2$$

$$m_f = (m_{Rn} + m_{He}) = 221,970 + 4,001 = 225,971 \text{ u}$$

$$m_i = m_{Ra} = 225,977 \text{ u}$$

$$m_i - m_f = 225,977 - 225,971 = 6 \times 10^{-3} \text{ u}$$

$$E_{lib} = 6 \times 10^{-3} \times 931,5 = 5,6 \text{ MeV} : \text{علاقة أنشتاين}$$

التعبير عن E_{lib} بواسطة طاقات التماسك E_l

نستعمل هذا المثال لإيجاد العلاقة بين E_l و E_{lib}

$$(3) \quad E_{lib} = (m_U - m_{Ce} - m_{Se} - 2 m_n) c^2$$

طاقة تماسك نواة Ce هي : $E_l = (58 m_p + 91 m_n - m_{Ce}) c^2$ ، ومنه : $m_{Ce} = 58 m_p + 91 m_n - \frac{E_l}{c^2}$

بنفس الطريقة : $m_{Se} = 34 m_p + 50 m_n - \frac{E_l}{c^2}$

$$m_U = 92 m_p + 143 m_n - \frac{E_l}{c^2}$$

بتعويض هذه الكتل في العلاقة (3) نجد : $E_{lib} = E_l_{Ce} + E_l_{Se} - E_l_U$

ملاحظة : هذه العلاقة لا تُطبق إذا كان التحول يحتوي على الجسيمات β

$$E_{lib} = E_{lf} - E_{li}$$

11 - القوى الأربعة في الطبيعة :

- 1 - قوة التجاذب المادي : هي القوة التي تضمن بقاء الكواكب في مداراتها وتشد الأجسام للأرض .
- 2 - القوة الكهرومغناطيسية : هي القوة التي تشد الإلكترون إلى جوار النواة ، وهي المسؤولة عن الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمادة .
- 3 - القوة النووية الشديدة : هي القوة التي تمسك مكونات النواة .
- 4 - القوة النووية الضعيفة : هي القوة التي تسبب تفكك النواة (الأنوية المشعة) .