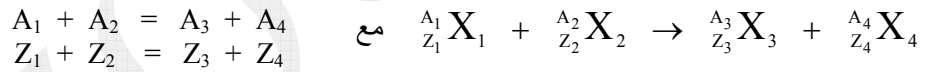


ما يجب أن أعرف حتى أقول : إنني استوعبت هذا الدرس

- ♦ يجب أن أعرف أنه يمكن تغيير تركيب 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_I .
- ♦ يجب أن أتمكن من مقارنة استقرار الأنوية بواسطة طاقة التماسك لكل نوكلون $\frac{E_I}{A}$
- ♦ 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 طاقة بفعل اختلاف الكتلة قبل وبعد التفاعل .

ملخص الدرس

التفاعل النووي : هو تفاعل يتم على مستوى الأنوية ، بحيث تتحفظ الأعداد الكتلية للعناصر وأرقامها الذرية .



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

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

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

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

النقص الكتلي Δm : هو الفرق بين كتلة النوكليونات منفصلة في حالة الراحة وكتلة النواة . $\Delta m = Z \times m_p + (A - Z) m_n - m$

حيث : m_p : كتلة البروتون ، m_n : كتلة النيوترون ، m : كتلة النواة

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

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

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 .

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

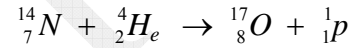
الإنتطار النووي : هو تفاعل يحدث فيه انقسام (انقسام) نواة ثقيلة إلى نواتين أخف منها ، وطاقة التماسك لكل نوكلين في كل واحدة أكبر مما في النواة المنشطرة .

محتوى الدرس

1 - التفاعل النووي المفتعل :

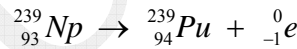
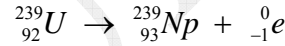
على عكس التفاعل النووي الطبيعي الذي يحدث تلقائيا ، التفاعل النووي المفتعل يمكن القيام به في المفاعلات النووية .

أول تفاعل مفتعل تحقق في 1919 عندما قذف روبرت فوردي ذرات الأزوت بواسطة الجسيمات α :



يمكن لتفاعل مفتعل أن يتبع بتفاعلات تلقائية ، مثل قذف نواة اليورانيوم 238 بواسطة نيوترون : ${}^{238}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{239}_{92}U$

يتبع هذا التفاعل بتفاعلات تلقائية منها :



- كل نواة مصطنعة هي نواة مشعة حسب النمط α أو β^- أو β^+
 - سواء كان التفاعل 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 فولت (eV) : $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

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

للمزيد : منشأ الوحدة إلكترون فولت

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

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

من (1) و (2) نستنتج : $E = Q U$ (3) U بالفولط و Q بالكولون فكانت 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 : $1 \text{ u} = 1,66055 \times 10^{-27} \text{ kg}$

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

النقص الكتلي :

لو أخذنا كمثال ذرة الصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$ ، فهي تضم 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 .

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

كتلة البروتون : m_p

كتلة النوترون : m_n

كتلة النواة : m

ئ

هذا مثال لكي نفهم أين يذهب هذا الفرق في الكتلة :

لدينا مجموعة من الأشخاص طرق معيشتهم تختلف في كثير من النقاط . اقتضت الضرورة أن يسافروا في بعثة بحيث يتحتم عليهم أن يشتركوا في إعاستهم . 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 تحوّلت إلى رابط يمسك أفراد هذه الجماعة إلى بعضهم البعض .

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

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

الطاقة الناتجة هي : $E = \Delta m c^2$

4 - 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 :

$$E_I = (Z m_p + (A - Z) m_n - m) c^2$$

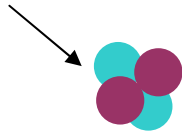
كتلة البروتون : m_p

كتلة النوترون : m_n

كتلة النواة : m

c : سرعة الضوء في الفراغ

نقدّم للنواة أقل طاقة خارجية E_1
لفك النوكليونات عن بعضها



تفكيك



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

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 يتلقى 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 $m_n = 1,6750 \text{ kg}$ 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 : $E_1 = (m_p + m_n - m) c^2 = \Delta m c^2 = 4,2 \times 10^{-30} \times 9 \times 10^{16}$
 $E_1 = 2,36 \text{ MeV}$

5 – طاقة التماسك لكل نوكليون :

نعتبر الآن الطاقة التي يمكن بذلها لفك نوكليون واحد من النواة ، وهذه الطاقة هي $\frac{E_1}{A}$ ، مع اعتبار أن الطاقة E_1 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	${}^{56}_{26}Fe$	${}^{238}_{92}U$
E_1 (MeV)	0	2,30	8,49	6,66	28,28	32,10	38,85	492,24	1801,66
$\frac{E_1}{A}$ (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 إنبعاث هذه الأنوية في نمط الإشعاع α ، ولا تنبعث أنوية مثل 3_2He أو 6_3Li .

6 - منحني 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 $-\frac{E_1}{A}$

والتي تمثل الطاقة اللازمة لنزع نوكليون من النواة .

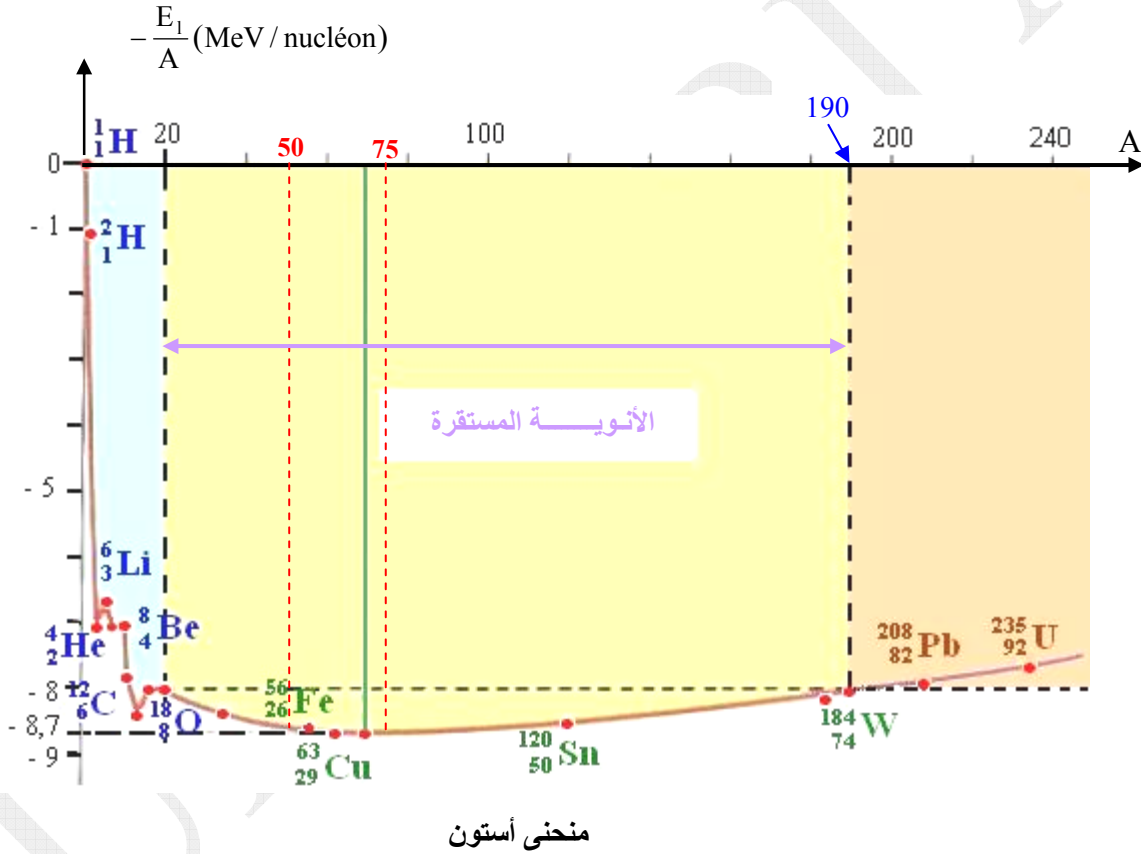
منحني أستون يدرس تغيرات هذه الطاقة بدلالة العدد الكتلي A .

50 < A < 75 : نلاحظ على منحني 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 ($\frac{E_1}{A} < 8 \text{ MeV}$)

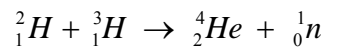
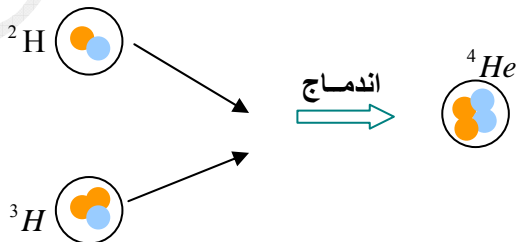
1 < A < 20 : الأنوية في هذا المجال غير مستقرة (أنوية خفيفة) لأن $\frac{E_1}{A} < 8 \text{ MeV}$.



7 - الإندماج النووي :

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

مثال :



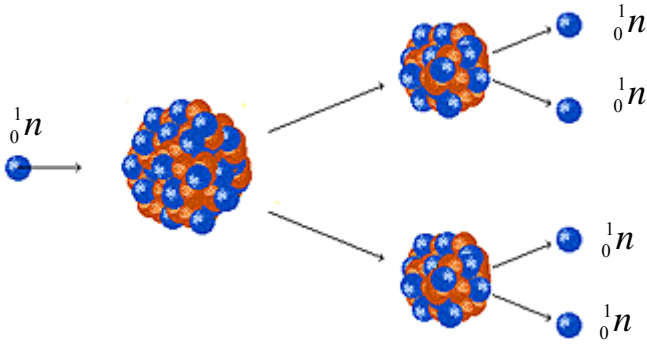
الطاقة المتحررة في هذا التفاعل حوالي 17 MeV

طاقة التماسك لكل نوكليون في النواة الناتجة أكبر من طاقة

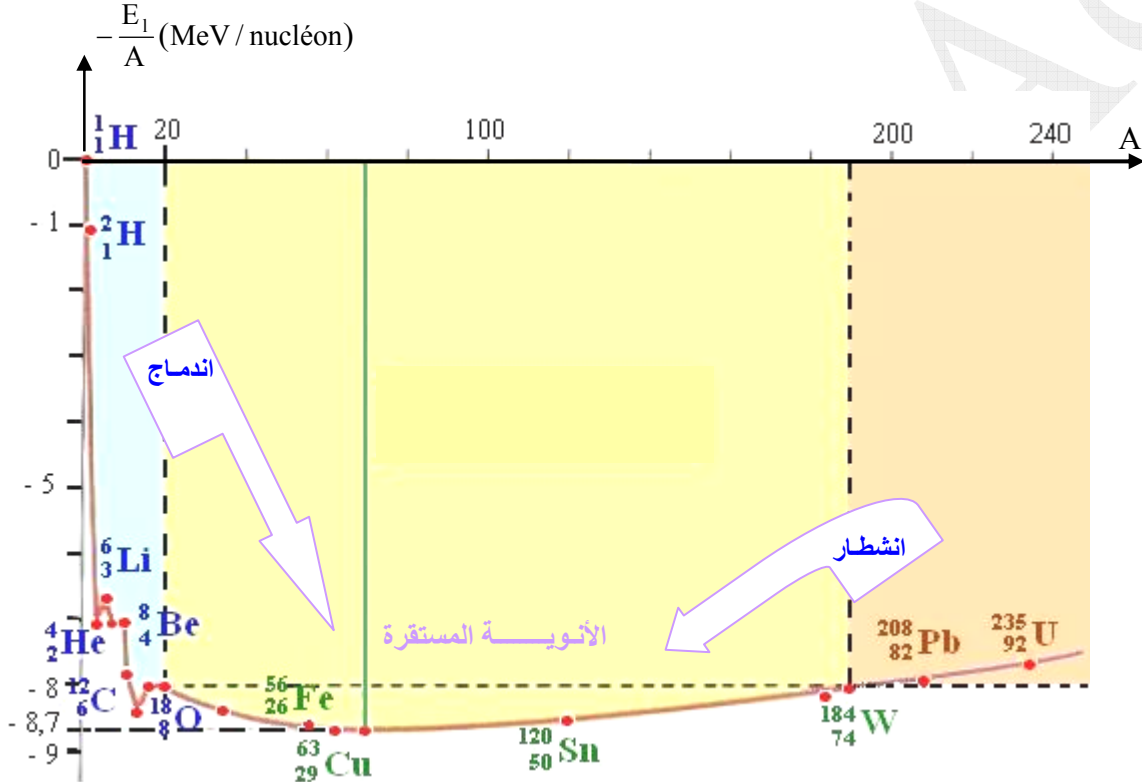
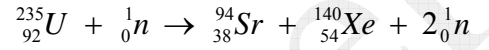
التماسك لكل نوكليون في كل من النواتين المندمجتين (انظر الجدول أعلاه)

8 - الانشطار النووي :

تُستعمل النيوترونات لقفذ 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 غير المستقرة يمكن أن تتحول بطريقتين :

- الأنوية الثقيلة $A > 190$: يمكنها أن تنشط إلى نواتين خفيفتين نسبيا تنتميان لمجال الاستقرار
- بعض الأنوية الخفيفة (مثل ${}^3_1\text{H}$ ، ${}^2_1\text{H}$ ، ${}^1_1\text{H}$) : يمكنها أن تندمج لإعطاء نواة قريبة من مجال الاستقرار .

9 - الطاقة المحررة في تفاعل نووي

إن التفاعلات النووية تُتبع دائما بالتناقص في الكتلة ، أي أن كتلة النواتج دائما أصغر من كتلة المتفاعلات ($\Delta m < 0$) .

ليكن التفاعل النووي التالي : ${}^A_1\text{X}_1 + {}^A_2\text{X}_2 \rightarrow {}^A_3\text{X}_3 + {}^A_4\text{X}_4$ ، بحيث يمكن أن تكون X أنوية أو جسيمات ، فإن :

$$\Delta m = (mX_3 + mX_4) - (mX_1 + mX_2) < 0$$

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

وتكون بذلك الطاقة المحررة في تفاعل نووي

m_i : الكتلة الابتدائية (مجموع كتل المتفاعلات)

m_f : الكتلة النهائية (مجموع كتل النواتج)

c سرعة الضوء في الفراغ (ثابت أنشطاين)

$E_{lib} = \Delta E = E_2 - E_1$ هي التغير في طاقة الجملة ، أي

$\Delta E < 0$
الجملة أعطت الطاقة للوسط الخارجي

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

$$1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

الحل : $E_{lib} = \Delta m c^2$

$$\Delta m = (m_{Ce} + m_{Se} + 3 m_n - m_U - m_n) = (m_{Ce} + m_{Se} + 2 m_n - m_U)$$

$$\Delta m = 148,928 + 83,918 + 2 \times 1,009 - 235,044 = -0,18 \text{ u}$$

$$E_{lib} = \Delta m c^2 = -0,18 \times 1,66 \times 10^{-27} \times 9 \times 10^{16} = -2,69 \times 10^{-11} \text{ J}$$

$$E_{lib} = \frac{-2,69 \times 10^{-11}}{1,602 \times 10^{-13}} = -167,9 \text{ MeV}$$

ملاحظة : يمكن أن نجد الطاقة بـ (MeV) مباشرة بضرب Δm مقدر بالـ (u) في العدد 931,5

$$E_{lib} = -0,18 \times 931,5 = -167,7 \text{ MeV}$$

مثال 2

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

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

الحل : $E_{lib} = \Delta m c^2$

$$\Delta m = (m_{Rn} + m_{He} - m_{Ra}) = (221,970 + 4,001 - 225,977) = -6 \times 10^{-3} \text{ u}$$

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

التعبير عن E_{lib} بواسطة طاقات التماسك E_l

${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{149}_{58}\text{Ce} + {}^{84}_{34}\text{Se} + 3{}^1_0\text{n}$

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

$$(1) \quad E_{lib} = (m_{Ce} + m_{Se} + 2 m_n - m_U) c^2$$

طاقة تماسك النواة 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 : $m_{Se} = 34 m_p + 50 m_n - \frac{E_l}{c^2}$

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

$$E_{lib} = E_{lU} - E_{lCe} - E_{lSe}$$

بتعويض هذه الكتل في العلاقة (1) نجد :

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) .