

في هذا الدرس يجب أن :

- 1 - أعرف أنه يمكن الحصول اصطناعيا على أنوية جديدة عند قذف أنوية بواسطة جسيمات .
- 2 - أستوعب أن الكتلة تكافئها طاقة تسمى طاقة الكتلة .
- 3 - أعرف أن كتلة مكونات النواة وهي منفصلة أكبر من كتلة النواة .
- 4 - أعرف سبب تماسك النواة رغم احتوائها على جسيمات متماثلة الشحنة (البروتونات) .
- 5 - أعرف العلاقة التي تُعطي طاقة تماسك النواة E_L .
- 6 - أعرف كيف أقرن استقرار الأنوية .
- 7 - أعرف كيف أقرأ منحنى أستون (Aston) .
- 8 - أعرف كل خصائص الانشطار والاندماج وأقرن بينهما .
- 9 - أعرف مصدر الطاقة المحررة في تفاعل نووي ، وأحسبها ، وأضع مخططا للحصيلة الطاقوية .

ملخص الدرس

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

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

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

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

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

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 .

طاقة تماسك النواة (E_L) : هي الطاقة المكافئة للنقص الكتلي . $E_L = \Delta m c^2$

طاقة التماسك لكل نوكليون : نعتبر طاقة تماسك النواة موزعة بالتساوي على كل النوكليونات ، فنعبّر عن طاقة التماسك لكل نوكليون بـ :

$$\frac{E_L}{A} , \text{ حيث } A \text{ هو العدد الكتلي .}$$

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 خفيفتين لتشكيل نواة أثقل منهما ، وتكون طاقة تماسكها أكبر من مجموع طاقتي تماسك النواتين المندمجتين .

الانشطار النووي : هو تفاعل يحدث فيه انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين أخف ، ويكون مجموعا طاقتي تماسكها أكبر من طاقة تماسك النواة المنشطرة .

الدرس

1 - التحول النووي المفتعل :

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

أول تحوّل مفتعل تحقق في 1919 عندما قذف رودرفورد ذرات الأزوت بواسطة الجسيمات α : $^{14}_7N + ^4_2He \rightarrow ^{17}_8O + ^1_1p$

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

يُتبع هذا التحول بتحوّلات تلقائية منها : $^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np + ^0_{-1}e$ ، $^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}Pu + ^0_{-1}e$

- كل نواة اصطناعية هي نواة مشعة .
- قانونا صودي للتحفاظ يُطبّقان سواء كان التحول النووي تلقائيا أو مفتعلا .

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 : $E = mc^2$

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 للطاقة هما :

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

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

للمزيد : منشأ الوحدة (الإلكترون فولت) :

(1) الطاقة الكهربائية الناتجة في ناقل كهربائي خلال مدة زمنية Δt عندما يمر فيه تيار شدته I هي : $E = UI\Delta t$

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

(3) $E = QU$ و (2) نستنتج :

لو استعملنا في العلاقة (3) U بالفولت و Q بالكولون لكانت الطاقة E بالجول ، أي $1 eV = 1 V \times 1,602 \times 10^{-19} C$ ، حيث شحنة

الإلكترون $1 eV = 1,602 \times 10^{-19} J$ ، وبالتالي $|Q| = e = 1,602 \times 10^{-19} C$

مثال : ما هي الطاقة الموافقة لكتلة الإلكترون ؟

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

$E = m_e c^2 = 9,11 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 = 8,2 \times 10^{-14} J = 0,51 MeV$

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) .

تعريف : وحدة الكتل الذرية (u) هي $\frac{1}{12}$ من كتلة نواة الكربون $^{12}_6C$.

$1 u = 1,66 \times 10^{-27} kg$ ، $1u = \frac{1}{12} \times \frac{12 \times 10^{-3}}{6,023 \times 10^{23}} = 1,6603 \times 10^{-27} kg$

مثلا : كتلة البروتون : $m_p = 1,6727 \times 10^{-27} kg$ ، ووحدة الكتل الذرية : $1,0073 u = \frac{1,6727 \times 10^{-27}}{1,6603 \times 10^{-27}}$

4 - النقص الكتلي :

لو أخذنا كمثال نواة الصوديوم $^{22}_{11}Na$ ، فهي تحتوي على 11 بروتونا و 11 نوترونا .

بيّنت التجربة أن كتلة 11 بروتونا + كتلة 11 نوترونا أكبر من كتلة النواة ، وهذا ينطبق على باقي الأنوية الأخرى .

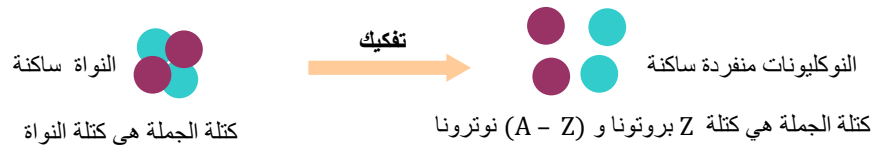
$$\Delta m = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m_X$$

حيث m_p و m_n هما كتلتا البروتون والنوترون على الترتيب ، و m_X هي كتلة النواة .

5 - طاقة تماسك النواة :

هي الطاقة التي تُقدّم للنواة وهي ساكنة للحصول على مكوناتها منفصلة وساكنة ، وهي طاقة الكتلة الموافقة للنقص الكتلي . $E_I = \Delta m c^2$

حيث E_I مقاسة بالجول ، Δm بالكيلوغرام ، وسرعة الضوء في الفراغ (c) بالمتّر / الثانية .



مثال : تُعطى كتلة البروتون $m_p = 1,6720 \times 10^{-27} \text{ kg}$ و كتلة النيوترون $m_n = 1,6743 \times 10^{-27} \text{ kg}$ وكتلة نواة الديتريوم ${}^2_1\text{H}$ (الهيدروجين الثقيل) $m_H = 3,3425 \times 10^{-27} \text{ kg}$. احسب طاقة تماسك نواة هذا النظير .

تحتوي النواة على بروتون واحد ونيوترون واحد ، وبالتالي :

$$E_l = (m_p + m_n - m_H) c^2 = 3,8 \times 10^{-30} \times 9 \times 10^{16} = 3,42 \times 10^{-13} \text{ J} = 2,135 \text{ MeV}$$

6 – طاقة التماسك لكل نوكلون :

هي الطاقة التي نبذلها لفصل نوكلون واحد من النواة ، وهي $\frac{E_l}{A}$ ، وذلك باعتبار أن الطاقة E_l موزعة بانتظام على كل النوكلونات في النواة .

كلما كانت طاقة التماسك لكل نوكلون (لكل نوية) أكبر كلما كان استقرار النواة أكبر .

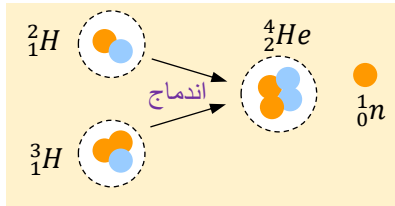
لو نظرنا إلى القائمة في الجدول نلاحظ على سبيل المثال طاقة تماسك نواة اليورانيوم 238 أكبر من طاقة تماسك نواة الحديد 56 ، رغم أن نواة الحديد أكثر استقرار من نواة اليورانيوم ؛ لأن طاقة التماسك لكل نوكلون في نواة الحديد أكبر من طاقة التماسك لكل نوكلون في نواة اليورانيوم .

النواة	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^3_2\text{He}$	${}^4_2\text{He}$	${}^6_3\text{Li}$	${}^7_3\text{Li}$	${}^{56}_{26}\text{Fe}$	${}^{238}_{92}\text{U}$
$E_l(\text{MeV})$	0	2,30	8,49	6,66	28,28	32,10	38,85	492,24	1801,66
$\frac{E_l}{A}(\text{MeV})$	0	1,15	2,83	2,22	7,07	5,35	5,55	8,79	7,57

ملاحظة : نلاحظ في الجدول أن نواة الهيليوم ${}^4_2\text{He}$ هي أصغر نواة ذات استقرار كبير جدا ، وهذا ما يفسر إنبعثات هذه الأنوية في التفكك α ، ولا تنبعث أنوية مثل ${}^3_2\text{He}$ أو ${}^6_3\text{Li}$.

7 – الاندماج النووي :

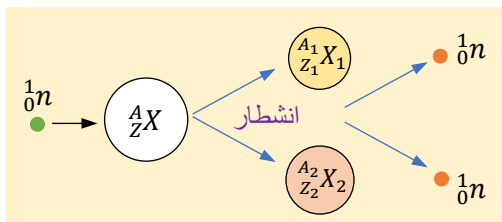
يمكن لنواتين خفيفتين في تصادم أن تندمجا مكونة نواة واحدة لها طاقة تماسك أكبر من مجموع طاقتي التماسك للنواتين المندمجتين ، وتحرر الطاقة . يتم هذا عندما يكون المزيج المندمج كثيفا جدا ، ويجب توفير طاقة كبيرة (درجة الحرارة من رتبة 10^6 K) للتغلب على قوة التنافر الكهربائي بين الأنوية (الأنوية تملك شحنة موجبة) .



مثال : اندماج الهيدروجين 3 (التريثيوم) والهيدروجين 2 (الديتريوم) ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.
من إيجابيات تفاعل الاندماج ، أنه غير ملوث للطبيعة ، وأن الوقود (الأنوية المندمجة) كالديتريوم والتريثيوم موجودة في مياه المحيطات ، ومن سلبياته أنه يحتاج إلى درجة حرارة عالية ، أي إلى تكنولوجيا متقدمة لإنشاء قلب المفاعل النووي لرفع المرود .

8 – الانشطار النووي :

تُستعمل النيوترونات البطيئة (الحرارية) لقذف أنوية ثقيلة للحصول على أنوية (شطايا) أخف من النواة المنشطرة ، وتحرر الطاقة .
فمثلا نواة اليورانيوم 235 لما تمتص النيوترون الحراري تتحول إلى نواة اليورانيوم 236 ، وهذه الأخيرة تصبح غير مستقرة ، فتنقسم إلى نواتين تسميان شطايا الانشطار . هذه الظاهرة تشبه ظاهرة قطرة الماء لما ترتفع درجة حرارتها ، فإنها تنقسم إلى قطرتين .
إن سبب اختيار النيوترون في هذه العملية هو أن هذا الجسم معتدل كهربائيا فلا يتنافر مع الأنوية .



الأنوية الناتجة عن الانشطار تكون أكثر استقرار من النواة المنشطرة .

$$\text{مثال : } {}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{140}_{54}\text{Xe} + 2{}^1_0\text{n}$$

- عدد النيوترونات المتحررة في الغالب يكون 2 أو 3 في تفاعلات الانشطار .

- النيوترونات المتحررة لها طاقة حركية كبيرة جدا بالنسبة للنيوترون المستعمل لقذف

النواة المنشطرة . يمكن خفض سرعة النيوترونات المتحررة (تمريرها في الماء مثلا)

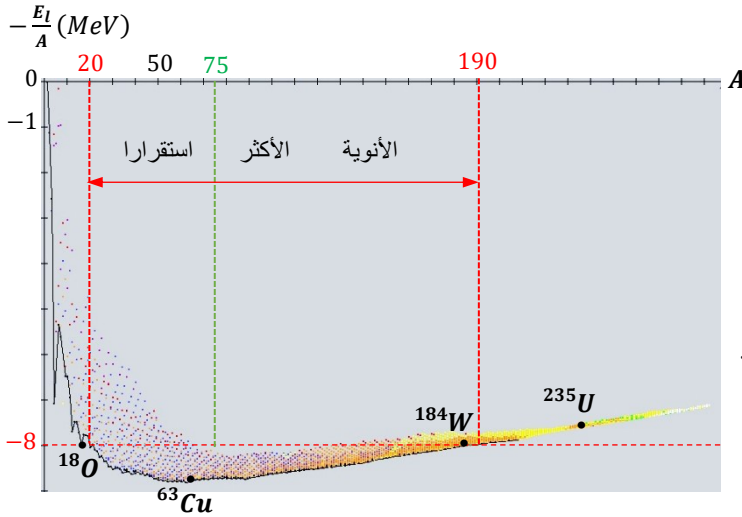
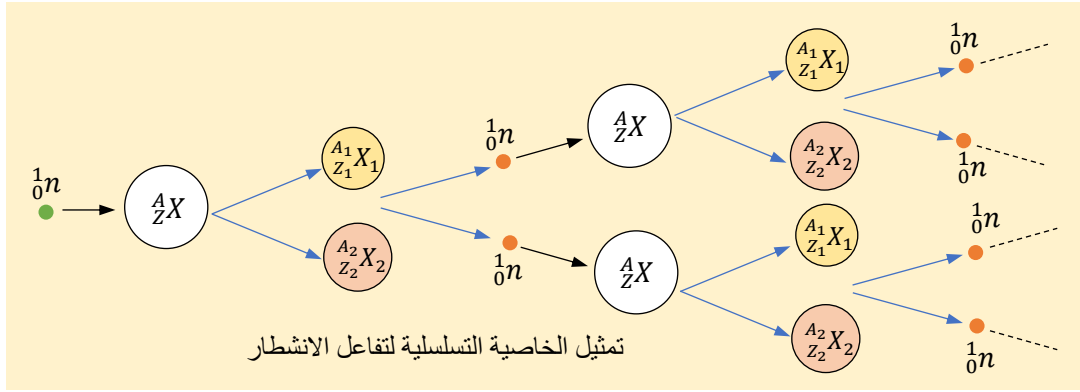
فتصبح بطيئة ، وبالتالي يمكن استعمالها في الانشطار ، فنقول أن تفاعل الانشطار **مغذّي ذاتيا** .

- في المفاعلات النووية يمكن التحكم في النيوترونات المتحررة ، أما في الانفجارات النووية (القنابل والأعطال في المفاعلات النووية) يمكن للنيوترونات

الناتجة أن تقوم بقذف أنوية أخرى وتتساعد العملية ، فنقول أن للانشطار **خاصية تسلسلية** .

- من سلبيات الانشطار النووي تخزين النفايات النووية ، وهي نفايات مشعة ذات أنصاف أعمار كبيرة .

- من إيجابيات الانشطار سهولة تركيب وتفكيك المفاعلات النووية



9 - منحني أستون (Aston)

يمثل هذا المنحنى نظير طاقة التماسك لكل نوكلون $(-\frac{E_i}{A})$ بدلالة العدد الكتلي (A) .

منحنى أستون هو المنحنى الأسود ، ويشمل الأنوية الطبيعية المستقرة ، وجواره من الناحية العلوية توجد الأنوية الأخرى . على امتداد منحنى أستون نحو اليمين توجد بعض الأنوية الطبيعية غير المستقرة ، مثل اليورانيوم 235 .
 - لا توجد أنوية طاقة التماسك لكل نوكلون فيها أكبر من $8,8 \text{ MeV}$.
 - الأنوية الأكثر استقرار توافق بالتقريب الأعداد الكتلية المحصورة بين 20 و 190 .
 - الأنوية المستقرة جدا تقع بجوار النهاية الصغرى للمنحنى ، ومنها النحاس 63 والنيكل 62 .

- الأنوية الخفيفة (بالتقريب A محصور بين 1 و 20) هي أنوية قابلة للاندماج ، مثل الديتريوم ^2_1H والتريتيوم ^3_1H والهيليوم ^3_2He .
 - الأنوية الثقيلة قابلة للانشطار ، مثل اليورانيوم 235 .
 - عن طريق منحنى أستون نقرن استقرار الأنوية ، ونحدد الطاقة المحررة في الاندماج والانشطار .

10 - الطاقة المحررة في تحوّل نووي :

ليكن التحوّل النووي التالي : $^A_1X_1 + ^A_2X_2 \rightarrow ^A_3X_3 + ^A_4X_4$ ، بحيث يمكن أن تكون X أنوية أو جسيمات ، ويمكن أن تكون هذه الجسيمات وهذه الأنوية في حالة الراحة أم تتحرك . الطاقة محفوظة في التفاعل النووي ، وهذه الطاقة هي الطاقة الحركية وطاقة الكتلة ، وبالتالي :

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

نضع طاقات الكتلة في طرف والطاقات الحركية في الطرف 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 : $[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] = -\Delta m$

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

وبالتالي : $\Delta m c^2 = -\Delta E_c$ ، وحسب هذه العلاقة :

• 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 طاقة الكتلة إلى طاقة حركية . في هذه الحالة تتحرر الطاقة ، ونرمز لها بـ E_{lib} (L'énergie libérée) . هذه الطاقة تتحرر للوسط الخارجي .

ملاحظة : درسنا في السنة الثانية أن الطاقة التي تتخلّى عنها الجملة للوسط الخارجي نعتبر عنها بقيمة سالبة . في هذا الموضوع نريد فقط أن نحسب هذه

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

الطاقة ، فنعتبر عنها بقيمة موجبة هي :

m_i : الكتلة الابتدائية (مجموع كتل المتفاعلات) (kg) ، m_f : الكتلة النهائية (مجموع كتل النواتج) (kg)

c : ثابت أنشتاين (سرعة الضوء في الفراغ) (m/s) ، E_{lib} : الطاقة المحررة (J)

تظهر الطاقة المحررة في الانشطار وفي الاندماج على شكل طاقة حركية للجسيمات والأنوية ، وبالتالي على شكل حرارة .

لكي نقارن بين تفاعلي الاندماج والانشطار من الناحية الطاقوية ، نقوم بمقارنة الطاقة المحررة في التفاعلين من أجل نفس كتلة الوقود ، مثلا الطاقة المحررة عن انشطار 1 kg من اليورانيوم 235 ، والطاقة المحررة عن اندماج مزيج من ${}^2_1\text{H}$ و ${}^3_1\text{H}$ كتلته 1 kg ، أو نقسم E_{lib} على مجموع الأعداد الكتلية للمفاعلات .

مثلا في التفاعلين : ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{149}_{58}\text{Ce} + {}^{84}_{34}\text{Se} + 3{}^1_0\text{n} + 167,7\text{ MeV}$ و ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 17,6\text{ MeV}$ نقارن $\frac{167,7}{236}$ و $\frac{17,6}{5}$ ، فنجد دائما الطاقة في الاندماج أكبر مما في الانشطار، حيث في هذا المثال الطاقة المحررة عن الاندماج أكبر بحوالي 5 أضعاف من الطاقة المحررة عن تفاعل الانشطار .

ملاحظة :

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

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

$$E = \frac{14,922 \times 10^{-11}}{1,602 \times 10^{-13}} \approx 931,5\text{ MeV} : (MeV) \text{ فولت}$$

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

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

عندما نريد حساب طاقة تماسك نواة أو الطاقة المحررة في تحوّل نووي ، وتكون لدينا كتل مقدرة بـ u . مثلا $\Delta m = 1,3\text{ u}$. لدينا $E = \Delta m c^2$.

$$E = 1,3 \times 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2} \times c^2 = 1,3 \times 931,5 \approx 1211\text{ MeV}$$

إذا أردنا حساب الطاقة مقدرة بـ MeV نضرب الكتلة مقدرة بـ u في العدد الثابت $931,5$.

إذا أردنا حساب الطاقة مقدرة بـ Joule نضرب الكتلة مقدرة بالـ kg في مربع سرعة الضوء في الفراغ مقدرة بـ m/s .

مثال 1 :

احسب الطاقة المحررة عن تفاعل الانشطار التالي : ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{149}_{58}\text{Ce} + {}^{84}_{34}\text{Se} + 3{}^1_0\text{n}$
المعطيات : $m_U = 235,044\text{ u}$ ، $m_{Se} = 83,918$ ، $m_{Ce} = 148,928\text{ u}$ ، $m_n = 1,009\text{ u}$

$$(1) \quad E_{lib} = (m_i - m_f) c^2$$

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

$$m_i = m_U + m_n = 235,053 + 1,009 = 236,062\text{ u}$$

$$m_i - m_f = 236,062 - 235,873 = 0,189\text{ u}$$

$$E_{lib} = 0,189 \times c^2 \times \frac{931,5}{c^2} = 175,1\text{ MeV} : (1) \text{ بالعويض في العلاقة}$$

مثال 2 :

احسب الطاقة المتحررة عن تفاعل الاندماج التالي : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
المعطيات : $m({}^2_1\text{H}) = 2,01355\text{ u}$ ، $m({}^3_1\text{H}) = 3,01550\text{ u}$ ، $m({}^4_2\text{He}) = 4,001506\text{ u}$ ، $m({}^1_0\text{n}) = 1,00866\text{ u}$ ، سرعة الضوء في الفراغ $c = 3 \times 10^8\text{ m/s}$

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

$$m_i = m({}^2_1\text{H}) + m({}^3_1\text{H}) = 2,01355 + 3,01550 = 5,02905\text{ u}$$

$$m_f = m({}^4_2\text{He}) + m({}^1_0\text{n}) = 4,001506 + 1,00866 = 5,010166\text{ u}$$

$$E_{lib} = (5,02905 - 5,010166) \times \frac{931,5}{c^2} \times c^2 = 17,6\text{ MeV} : (2) \text{ بالعويض في العلاقة}$$

التعبير عن E_{lib} بدلالة طاقات التماسك E_l :

نستعمل هذا التفاعل لإيجاد العلاقة بين E_l و E_{lib} ، ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{149}_{58}\text{Ce} + {}^{84}_{34}\text{Se} + 3{}^1_0\text{n}$ ،

$$E_{lib} = [(m_U + m_n) - (m_{Ce} + m_{Se} + 3m_n)] c^2$$

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

طاقة تماسك ${}^{149}_{58}\text{Ce}$ هي $E_{l(Ce)} = (58 m_p + 91 m_n - m_{Ce}) c^2$ ، ومنه $m_{Ce} = 58 m_p + 91 m_n - \frac{E_{l(Ce)}}{c^2}$

بنفس الطريقة نجد : $m_{Se} = 34 m_p + 50 m_n - \frac{E_{l(Se)}}{c^2}$ ، $m_U = 92 m_p + 143 m_n - \frac{E_{l(U)}}{c^2}$ ،

بتعويض هذه الكتل في العلاقة (3) :

$$E_{lib} = \left(92 m_p + 143 m_n - \frac{E_{l(U)}}{c^2} + m_n - 58 m_p - 91 m_n + \frac{E_{l(Ce)}}{c^2} - 34 m_p - 50 m_n + \frac{E_{l(Se)}}{c^2} - 3 m_n \right) c^2$$

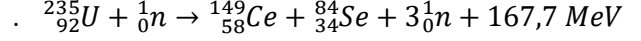
$$E_{lib} = E_{lf} - E_{li} : \text{أي } E_{lib} = E_{l(Se)} + E_{l(Ce)} - E_{l(U)}$$

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

تطبيقات حول حساب الطاقة المحرّرة :

1 -

أ / احسب الطاقة المحرّرة عند انشطار كتلة $m = 2 \text{ kg}$ من اليورانيوم 235 في التفاعل التالي :



ب / احسب كتلة غاز البروبان (C_3H_8) الذي يحترق ويحرّر نفس الطاقة المحرّرة عن الكتلة السابقة من اليورانيوم 235 .

عدد أفوقادرو $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ، الكتلة الذرية المولية لليورانيوم 235 : $M(U) \approx 235 \text{ g/mol}$

القدرة الحرارية لغاز البروبان (C_3H_8) هي $E = 2044 \text{ kJ/mol}$ ، الكتلة المولية لغاز البروبان $M = 44 \text{ g/mol}$

الحل :

أ / إن الطاقة $167,7 \text{ MeV}$ هي الطاقة المحرّرة عن انشطار نواة واحدة من اليورانيوم 235 ، وهي التي نسمّيها E_{lib} .

$$N = N_A \times \frac{m}{M} = 6,02 \times 10^{23} \times \frac{2000}{235} = 5,12 \times 10^{24} : m \text{ في الكتلة } 235 \text{ من اليورانيوم}$$

$$E_{libT} = N \times E_{lib} = 5,12 \times 10^{24} \times 167,7 = 8,6 \times 10^{26} \text{ MeV} : \text{ الطاقة المحرّرة الكليّة هي}$$

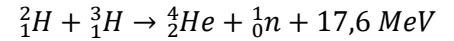
$$E_{libT} = 8,6 \times 10^{26} \times 1,602 \times 10^{-13} = 1,37 \times 10^{14} \text{ J} : \text{ نحول } E_{libT} \text{ إلى الجول}$$

لدينا 1 mol من غاز البروبان يحترق طاقة قدرها $E = 2,04 \times 10^6 \text{ J}$ ، وبالتالي كمية مادة البروبان التي تحرّر الطاقة E_{libT} هي :

$$n = \frac{1,37 \times 10^{14}}{2,04 \times 10^6} \approx 6,7 \times 10^7 \text{ mol}$$

$$m = n \times M = 6,7 \times 10^7 \times 44 = 2,95 \times 10^9 \text{ g} = 2950 \text{ t} : \text{ لدينا}$$

2 - احسب الطاقة المحرّرة عن اندماج مزيج متساوي الأنوية كتلته $m = 1 \text{ kg}$ من الديتريوم والتريثيوم في معادلة الاندماج :



المعطيات : $m({}^3_1\text{H}) = 3,01550 \text{ u}$ ، $m({}^2_1\text{H}) = 2,01355 \text{ u}$ ، $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، ونواة واحدة (${}^3_1\text{H}$) .

إن الطاقة $17,6 \text{ MeV}$ هي الطاقة المحرّرة عن اندماج نواة واحدة (${}^2_1\text{H}$) ونواة واحدة (${}^3_1\text{H}$) .

الحل :

الطريقة 1 :

لنكن m_2 كتلة ${}^2_1\text{H}$ و m_3 كتلة ${}^3_1\text{H}$ في المزيج ، يكون إذن : $m_2 + m_3 = m$ (4)

ولدينا $m_2 = M_2 \times \frac{N}{N_A}$ و $m_3 = M_3 \times \frac{N}{N_A}$ ، حيث $M_2 = 2 \text{ g/mol}$ و $M_3 = 3 \text{ g/mol}$ ، و N هو عدد أنوية ${}^2_1\text{H}$ وكذلك ${}^3_1\text{H}$

(إذا كان عدد أنوية ${}^2_1\text{H}$ هو 10^{20} ، فكتلك عدد أنوية ${}^3_1\text{H}$ هو 10^{20})

$$N = N_A \times \frac{m}{M_2 + M_3} \text{ ومنه } \frac{N}{N_A} (M_2 + M_3) = m \text{ ، وبالتالي } M_2 \times \frac{N}{N_A} + M_3 \times \frac{N}{N_A} = m : (4)$$

$$N = 6,02 \times 10^{23} \times \frac{1000}{2+3} = 1,20 \times 10^{26}$$

$$E_{libT} = 17,6 \times 1,20 \times 10^{26} = 2,11 \times 10^{27} \text{ MeV} : \text{ الطاقة المحرّرة الكليّة هي}$$

الطريقة 2 :

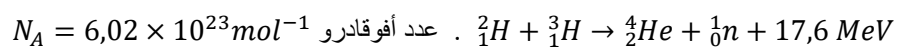
يحتوي المزيج على N نواة من ${}^2_1\text{H}$ و N نواة من ${}^3_1\text{H}$ ، ونعلم أن كتلة النواة ${}^2_1\text{H}$ هي $m({}^2_1\text{H}) = 2,01355 \text{ u}$ ، وكتلة النواة ${}^3_1\text{H}$ هي

$$m({}^3_1\text{H}) = 3,01550 \text{ u} \text{ ، وبالتالي } (N \times 2,01355 + N \times 3,01550) \times 1,66 \times 10^{-27} = 1$$

$$N = \frac{1}{(2,01355 + 3,01550) \times 1,66 \times 10^{-27}} = 1,2 \times 10^{26}$$

$$E_{libT} = 17,6 \times 1,20 \times 10^{26} = 2,11 \times 10^{27} \text{ MeV}$$

3 - احسب الطاقة المحرّرة عن اندماج كتلة $m = 4 \text{ g}$ من الديتريوم (D) وكتلة $m' = 6 \text{ g}$ من التريثيوم (T) في تفاعل الاندماج :



الحل :

$$N({}^2_1\text{H}) = 6,02 \times 10^{23} \times \frac{4}{2} \approx 1,2 \times 10^{24} : \text{ عدد أنوية الديتريوم}$$

$$N({}^3_1\text{H}) = 6,02 \times 10^{23} \times \frac{6}{3} \approx 1,2 \times 10^{24} : \text{ عدد أنوية التريثيوم}$$

الطاقة المحررة الكلية هي $E_{libT} = N \times E_{lib} = 1,2 \times 10^{22} \times 17,6 = 2,11 \times 10^{23} \text{ MeV}$

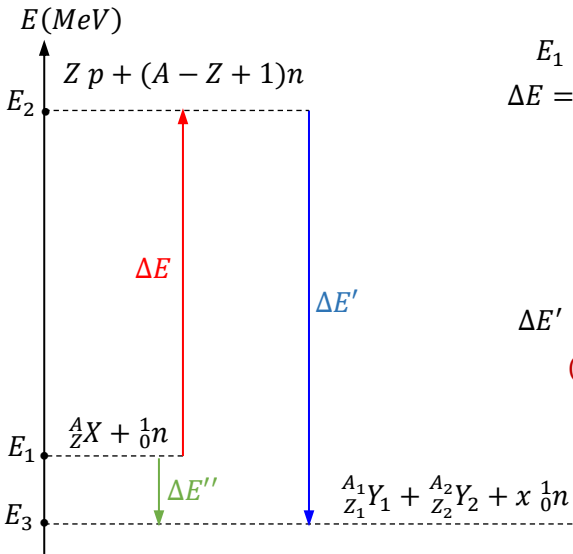
ملاحظة: $E_{libT} \neq 2N \times E_{lib}$ ، بل $E_{libT} = N \times E_{lib}$

ملاحظة: في هذا المثال دائما تعطى لنا كتلتنا الديتريوم والتريتيوم بحيث نجد عدد أنويتهم متساويا .

ملاحظة: يمكنك في هذا المثال جمع الكتلتين واتباع الطريقة 1 في التطبيق 2 .

مخطط الحصيلة الطاقوية لتفاعلي الانشطار والاندماج :

- تفاعل الانشطار :



E_1 : طاقة الكتلة للنواة $\frac{A}{Z}X$ و نوترون واحد ، حيث $E_1 = [m(\frac{A}{Z}X) + m_n] \times 931,5$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = [Z m_p + (A - Z)m_n + m_n - m(\frac{A}{Z}X) - m_n] \times 931,5$$

$$\Delta E = [Z m_p + (A - Z)m_n - m(\frac{A}{Z}X)] \times 931,5 \quad \text{أي :}$$

$$\Delta E = E_l(\frac{A}{Z}X)$$

$$E_2 = (Z m_p + (A - Z + 1)m_n) \times 931,5$$

$$E_3 = [m(Y_1) + m(Y_2) + x m_n] \times 931,5$$

$$\Delta E' = E_3 - E_2 = [m(Y_1) + m(Y_2) + x m_n - Z m_p - N m_n] \times 931,5$$

$$(5) \quad \Delta E' = [m(Y_1) + m(Y_2) + x m_n - Z m_p - N m_n] \times 931,5$$

حيث $N = (A - Z + 1)$

لدينا $Z m_p = Z_1 m_p + Z_2 m_p$

$$N m_n = (A_1 - Z_1) m_n + (A_2 - Z_2) m_n + x m_n$$

بالتعويض في العلاقة (5) :

$$\Delta E' = [m(Y_1) - Z_1 m_p - (A_1 - Z_1)m_n + m(Y_2) - Z_2 m_p - (A_2 - Z_2) m_n] \times 931,5$$

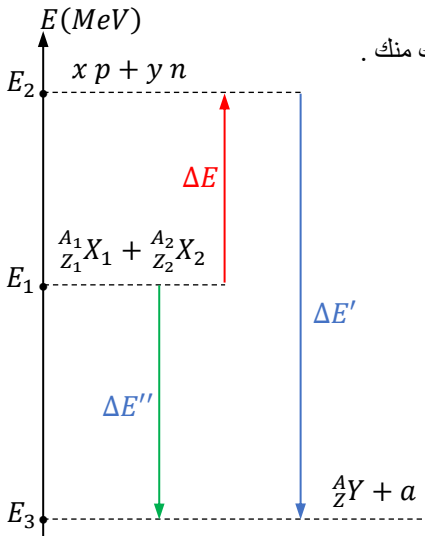
$$\Delta E' = -[E_l(Y_1) + E_l(Y_2)]$$

$$\Delta E'' = E_3 - E_1 = [m(Y_1) + m(Y_2) + x m_n - m(\frac{A}{Z}X) - m_n] \times 931,5 = (m_f - m_i) \times 931,5$$

$$\Delta E'' = -E_{lib}$$

ملاحظة خاصة: في الامتحان تكتب مباشرة عبارات ΔE ، $\Delta E'$ ، $\Delta E''$ ، ولا تثبتها إلا إذا طُلب ذلك منك .

- تفاعل الاندماج :



النواة الناتجة عن الاندماج هي $\frac{A}{Z}Y$ و a عبارة عن جسيم .

بنفس الطرق التي اتبعناها في الحصيلة الطاقوية للانشطار نكتب :

$$E_1 = [m(X_1) + m(X_2)] \times 931,5$$

$$E_2 = [x m_p + y m_n] \times 931,5$$

$$E_3 = [m(Y) + m_a] \times 931,5$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = E_l(X_1) + E_l(X_2)$$

$$\Delta E' = E_3 - E_2 = -E_l(Y)$$

$$\Delta E'' = -E_{lib}$$

للمزيد :

القوى الأربعة في الطبيعة :

قوة التجاذب المادي : هي القوة التي تضمن بقاء الكواكب في مداراتها وتشد الأجسام للأرض .

القوة الكهرومغناطيسية : هي القوة التي تشد الإلكترون إلى جوار النواة ، وهي المسؤولة عن الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمادة .

القوة النووية الشديدة : هي القوة التي تمسك مكونات النواة .

القوة النووية الضعيفة : هي القوة التي تسبب تفكك النواة بالنمط β .