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 أقارن استقرار الأنوية.
7 - أعرف كيف أقرأ منحنى أستون (Aston)
8 - أعرف كل خصائص الانشطار والاندماج وأقارن بينهما.
9 - أعرف مصدر الطاقة المحرّرة في تفاعل نووي، وأحسبها، وأضع مخطّطا للحصيلة الطاقوية.

ملخّص الدرس

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

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

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

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

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

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

حيث: m_p : كتلة البروتون ، m_n : كتلة النوترون ، 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 موزّعة بالتساوي على كل النوكليونات، فنعبّر عن طاقة التماسك لكل نوكليون بـ $\frac{E_l}{A}$ حيث A هو العدد الكتلي.

كلما كانت هذه الطاقة أكبر كلما كانت النواة أكثر استقرارا.

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

الاندماج النووي: هو تفاعل يحدث فيه اتّحاد 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 تماسكهما أكبر من طاقة تماسك النواة المنشطرة

الدرس

1 - التحوّل النووي المفتعل:

على عكس التحوّل النووي الطبيعي الذي يحدث تلقائيا، التحوّل النووي المفتعل يمكن القيام به في المفاعلات النووية. أول تحوّل مفتعل تحقق في 1919 عندما قذف روذرفورد ذرات الآزوت بواسطة الجسيمات α : $^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}p$

يمكن لتحوّل مفتعل أن يُتبع بتحوّلات تلقائية، مثل قذف نواة اليورانيوم 238 بواسطة نيترون: $^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}U$

يُتبع هذا التحوّل 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 للانحفاظ يُطبّقان سواء كان التحوّل النووي تلقائيا أو مفتعلا.

2 - طاقة الكتلة:

تُضفي الكتلة على المادة طاقة تسمى طاقة الكتلة، حيث أنّ المادة تملك هذه الطاقة في سكونها كذلك. هذا ما بيّنه العالم الفيزيائي والفيلسوف أنشتاين في علاقته المشهورة: $\boldsymbol{E = mc^2}$

m : كتلة الجسم (kg)

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

E : طاقة الكتلة (J)

نستعمل في هذا المجال وحدتين أخريين للطاقة هما:

- الإلكترون فولط (eV) ، حيث $1\ eV = 1{,}602 \times 10^{-19}\ J$
- الميغا إلكترون فولط (MeV) : $1\ MeV = 10^6 eV = 1{,}602 \times 10^{-13}\ J$

للمزيد: منشأ الوحدة (إلكترون فولط):

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

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

من (1) و (2) نستنتج: $E = QU$ (3)

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

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 ذرة الكربون $^{12}_{6}C$.

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

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

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، فالنقص الكتلي هو Δm .

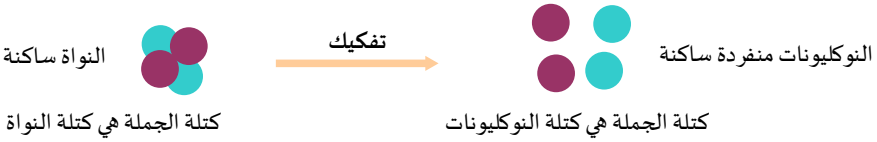
$$\boldsymbol{\Delta m = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m_X}$$

$\boldsymbol{Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m_X > 0}$ ، 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 مكوّناتها منفصلة وساكنة، وهي طاقة الكتلة الموافقة للنقص الكتلي. $\boldsymbol{E_l = \Delta m\, c^2}$

حيث E_l مقاسة بالجول، Δm بالكيلوغرام، وسرعة الضوء في الفراغ (c) بالمتر / الثانية (m/s).



مثال: تُعطى كتلة البروتون $m_p = 1{,}6720 \times 10^{-27}\ kg$ وكتلة النوترون $m_n = 1{,}6743 \times 10^{-27}\ kg$ وكتلة نواة الديتريوم ^2_1H (الهيدروجين الثقيل) $m_H = 3{,}3425 \times 10^{-27}\ kg$. احسب طاقة تماسك نواة هذا النظير.

تحتوي النواة على بروتون واحد ونوترون واحد، وبالتالي:

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

6 - طاقة التماسك لكل نوكليون:

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

كلما كانت طاقة التماسك لكل نوكليون (لكلّ نويّة) أكبر كلما كان استقرار النواة أكبر.

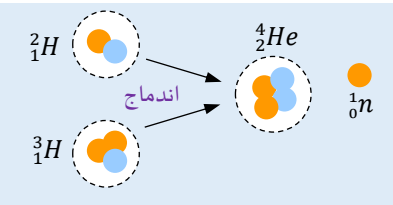
لو نظرنا إلى القائمة في الجدول نلاحظ على سبيل المثال طاقة تماسك نواة اليورانيوم 238 أكبر من طاقة تماسك نواة الحديد 56 ، رغم أن نواة الحديد 56 أكثر استقرار من نواة اليورانيوم 238 ؛ لأن طاقة التماسك لكل نوكليون في نواة الحديد أكبر من طاقة التماسك لكل نوكليون في نواة اليورانيوم .

النواة	^1_1H	^2_1H	^3_1H	^3_2He	^4_2He	^6_3Li	^7_3Li	$^{56}_{26}Fe$	$^{238}_{92}U$
$E_l(MeV)$	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 إنبعات هذه الأنوية في التفكّك α ولا تنبعث أنوية مثل ^3_2He أو ^6_3Li .

7 - الاندماج النووي:

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



مثال: اندماج الهيدروجين 3 (التريتيوم) والهيدروجين 2 (الديتريوم) $^3_1H + {}^2_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$

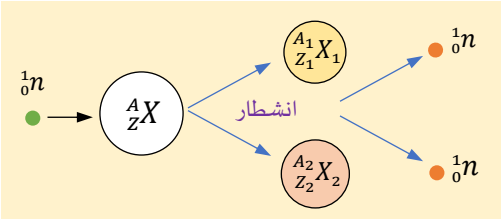
من إيجابيات تفاعل الاندماج، أنه غير ملوّث للطبيعة، وأن الوقود (الأنوية المندمجة) كالديتريوم والتريتيوم موجودة في مياه المحيطات، ومن سلبياته أنه يحتاج إلى إلى درجة حرارة عالية، أي إلى تكنولوجيا متقدّمة لإنشاء قلب المفاعل النووي لرفع المردود.

8 - الانشطار النووي:

تُستعمل النيوترونات البطيئة (الحرارية) لقذف أنوية ثقيلة للحصول على أنوية (شظايا) أخف من النواة المنشطرة، وتتحرّر الطاقة.

فمثلا نواة اليورانيوم 235 لمّا تمتص النوترون الحراري تتحوّل إلى نواة اليورانيوم 236 ، وهذه الأخيرة تصبح غير مستقرّة، فتنقسم إلى نواتين تسمّيان شظايا الإنشطار. هذه الظاهرة تشبه ظاهرة قطرة الماء لما ترتفع درجة حرارتها، فإنها تنقسم إلى قطرتين.

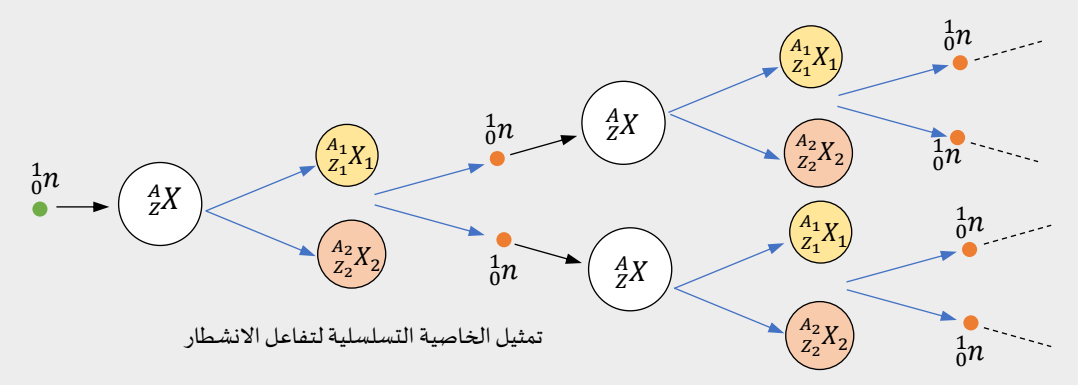
إن سبب اختيار النوترون في هذه العملية هو أن هذا الجسيم معتدل كهربائيا فلا يتنافر مع الأنوية. الأنوية الناتجة عن الانشطار تكون أكثر استقرار من النواة المنشطرة.



مثال: $^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + 2{}^1_0n$

- عدد النوترونات المتحرّرة في الغالب يكون 2 أو 3 في تفاعلات الانشطار.
- النوترونات المتحرّرة لها طاقة حركية كبيرة جدا بالنسبة للنوترون المستعمل لقذف النواة المنشطرة. يمكن خفض سرعة النوترونات المتحرّرة (تمريرها في الماء مثلا)، فتصبح بطيئة، وبالتالي يمكن استعمالها في الانشطار، فنقول أنّ تفاعل الانشطار **مغذّى ذاتيا**.

- في المفاعلات النووية يمكن التحكّم في النوترونات المتحرّرة، أما في الانفجارات النووية (القنابل والأعطال في المفاعلات النووية) يمكن للنوترونات الناتجة أن تقوم بقذف أنوية أخرى وتتصاعد العملية، فنقول أنّ للإنشطار **خاصية تسلسلية**.
- من سلبيات الانشطار النووي تخزين النفايات النووية، وهي نفايات مشعّة ذات أنصاف أعمار كبيرة عادة.
- من إيجابيات الانشطار سهولة تركيب وتفكيك المفاعلات النووية.

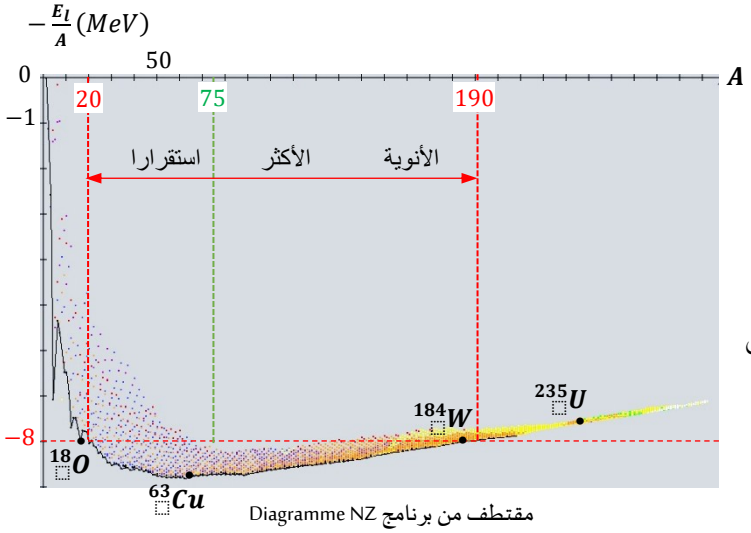


تمثيل الخاصية التسلسلية لتفاعل الانشطار

9 - منحنى أستون (Aston):

يمثّل هذا المنحنى معاكس طاقة التماسك لكل نوكليون $\left(-\frac{E_l}{A}\right)$ بدلالة العدد الكتلي (A) .

منحنى أستون هو المنحنى الأسود، ويشمل الأنوية الطبيعية المستقرّة، وبجواره من الناحية العلوية توجد الأنوية الأخرى على امتداد منحنى أستون، وفي أقصى اليمين توجد بعض الأنوية الطبيعية غير المستقرّة، مثل اليورانيوم 235.



مقتطف من برنامج Diagramme NZ

- لا توجد أنوية طاقة التماسك لكل نوكليون فيها أكبر من $8{,}8\ MeV$.
- الأنوية الأكثر استقرار توافق بالتقريب الأعداد الكتليّة 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 و20) 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 نقارن استقرار الأنوية، ونحدّد الطاقة المحررة في الاندماج والانشطار.

10 - الطاقة المحرّرة عن تحوّل نووي:

ليكن التحوّل النووي التالي: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$ ، بحيث يمكن أن تكون X أنوية أو جسيمات، ويمكن أن تكون هذه الجسيمات وهذه الأنوية في حالة الراحة أو تتحرك. إنّ 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 طرف: $[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)]\,c^2 = (E_{c3} + E_{c4}) - (E_{c1} + E_{c2})$

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

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

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

- إذا كان $\Delta m > 0$ ، أي كتلة النواتج أكبر من كتلة المتفاعلات، فهذا يؤدّي 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 يؤدّي إلى أن $\Delta E_c > 0$ ، أي أن في هذا التحوّل النووي تحولت طاقة الكتلة إلى طاقة حركية. في هذه الحالة تتحرّر الطاقة، ونرمز لها بـ E_{lib} $(L'énergie\ libérée)$. هذه الطاقة تتحرّر للوسط الخارجي.

ملاحظة: درسنا في السنة الثانية أن الطاقة التي تتخلّى عنها الجملة للوسط الخارجي نعبّر عنها بقيمة سالبة. في هذا الموضوع نريد فقط أن نحسب هذه الطاقة، فنعبّر عنها بقيمة موجبة هي: $\boldsymbol{E_{lib} = (m_i - m_f)\, c^2}$

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 المحرّرة (J)

تظهر الطاقة المحرّرة 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 المحرّرة عن انشطار $1\ kg$ من اليورانيوم 235، والطاقة المحرّرة عن اندماج مزيج من ^2_1H و ^3_1H كتلته $1\ kg$ ، أو نقسّم E_{lib} على مجموع الأعداد الكتلية للمتفاعلات.

مثلا في التفاعلين: $^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n + 17{,}6\ MeV$ و $^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{149}_{58}Ce + {}^{84}_{34}Se + 3{}^1_0n + 167{,}7\ MeV$

نقارن $\frac{167{,}7}{236}$ و $\frac{17{,}6}{5}$ ، فنجد دائما الطاقة في الاندماج أكبر مما في الانشطار، حيث في هذا المثال الطاقة المحرّرة عن الاندماج أكبر بحوالي خمسة أضعاف من الطاقة المحرّرة عن تفاعل الانشطار.

ملاحظة:

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

الجواب:

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

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

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

$\boldsymbol{1\ u = 931{,}5\ MeV/c^2}$ ، وبالتالي وجدنا وحدة جديدة للكتلة هي MeV/c^2 .

عندما نريد حساب طاقة تماسك نواة أو الطاقة المحرّرة في تحوّل نووي، وتكون لدينا الكتل مقدّرة بـ u . مثلا $\Delta m = 1{,}3\ u$.

لدينا $E = \Delta m\, c^2$.

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

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

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

مثال 1:

احسب الطاقة المحرّرة عن تفاعل الانشطار التالي: $^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{149}_{58}Ce + {}^{84}_{34}Se + 3{}^1_0n$

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

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

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

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

$$m_i - m_f = 236{,}053 - 235{,}873 = 0{,}180\ u$$

بالتعويض في العلاقة (1): $E_{lib} = 0{,}18 \times c^2 \times \frac{931{,}5}{c^2} = 167{,}7\ MeV$

مثال2 :

احسب الطـاقة المتحررة عن تفاعل الاندماج التالي: $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$

المعطيات:

$m(^{2}_{1}H) = 2{,}01355\ u$ ، $m(^{3}_{1}H) = 3{,}01550\ u$ ، $m(^{4}_{2}He) = 4{,}001506\ u$ ، $m(^{1}_{0}n) = 1{,}00866\ u$

سرعة الضوء في الفراغ $c = 3 \times 10^{8}\ m/s$.

الحل: $E_{lib} = (m_i - m_f)\, c^2$ (2)

$m_i = m(^{2}_{1}H) + m(^{3}_{1}H) = 2{,}01355 + 3{,}01550 = 5{,}02905\ u$

$m_f = m(^{4}_{2}He) + m(^{1}_{0}n) = 4{,}001506 + 1{,}00866 = 5{,}01016\ u$

بالتعويض في (2): $E_{lib} = (5{,}02905 - 5{,}01016) \times \frac{931{,}5}{c^2} \times c^2 = 17{,}6\ MeV$

التعبيرعن E_{lib} بدلالة طاقات التماسك E_l :

نستعمل هذا التفاعل لإيجاد العلاقة بين E_{lib} و E_l ، $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{149}_{58}Ce + ^{84}_{34}Se + 3^{1}_{0}n$.

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

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

طاقة تماسك $^{149}_{58}Ce$ 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):

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

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

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

تطبيقات حول حساب الطاقة المحرّرة:

- 1

1 - 1 - احسب الطاقة المحرّرة عند انشطار كتلة $m = 2\ kg$ من اليورانيوم 235 في التفاعل التالي:

$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{149}_{58}Ce + ^{84}_{34}Se + 3^{1}_{0}n + 167{,}7\ MeV$.

1 - 2 - احسب كتلة غاز البروبان (C_3H_8) الذي يحترق ويحرّر نفس الطاقة المحرّرة عن الكتلة السابقة من اليورانيوم 235.

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

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

الحل:

1 - 1 - إنّ الطاقة $167{,}7\ MeV$ هي الطاقة المحرّرة عن انشطار نواة واحدة من اليورانيوم 235، وهي التي نسمّيها E_{lib} .

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

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

1 - 2 - نحوّل E_{libT} إلى الجول: $E_{libT} = 8{,}6 \times 10^{26} \times 1{,}602 \times 10^{-13} = 1{,}37 \times 10^{14} J$

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

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

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

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

$$^2_1H + ^3_1H \rightarrow ^4_2He + ^1_0n + 17{,}6\ MeV$$

المعطيات: $m(^2_1H) = 2{,}01355\ u$ ، $m(^3_1H) = 3{,}01550\ u$ ، $1\ u = 1{,}66 \times 10^{-27}\ kg$

إن الطاقة $17{,}6\ MeV$ هي الطاقة المحرّرة عن اندماج نواة واحدة (^2_1H) ونواة واحدة (^3_1H) .

الحل:

الطريقة 1:

لتكن m_2 كتلة ^2_1H و m_3 كتلة ^3_1H 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 $M_2 = 2g/mol$ و $M_3 = 3g/mol$ ، و N هو عدد أنوية ^2_1H وكذلك ^3_1H (إذا كان عدد أنوية ^2_1H هو 10^{20} ، فكذلك عدد أنوية ^3_1H هو 10^{20})

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

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

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

الطريقة 2:

يحتوي المزيج على N نواة من ^2_1H و N نواة من ^3_1H ، ونعلم أن كتلة النواة ^2_1H هي $m(^2_1H) = 2{,}01355\ u$ ، وكتلة النواة ^3_1H هي $m(^3_1H) = 3{,}01550\ u$ ، وبالتالي $(N \times 2{,}01355 + N \times 3{,}01550) \times 1{,}66 \times 10^{-27} = 1$

$$N = \frac{1}{(2{,}01355 + 3{,}0155) \times 1{,}66 \times 10^{-27}} = 1{,}2 \times 10^{26}$$

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

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

$^2_1H + ^3_1H \rightarrow ^4_2He + ^1_0n + 17{,}6\ MeV$. عدد أفوقادرو $N_A = 6{,}02 \times 10^{23} mol^{-1}$

الحل:

عدد أنوية الديتريوم: $N(^2_1H) = 6{,}02 \times 10^{23} \times \frac{4}{2} \approx 1{,}2 \times 10^{22}$

عدد أنوية التريتيوم: $N(^3_1H) = 6{,}02 \times 10^{23} \times \frac{6}{3} \approx 1{,}2 \times 10^{22}$

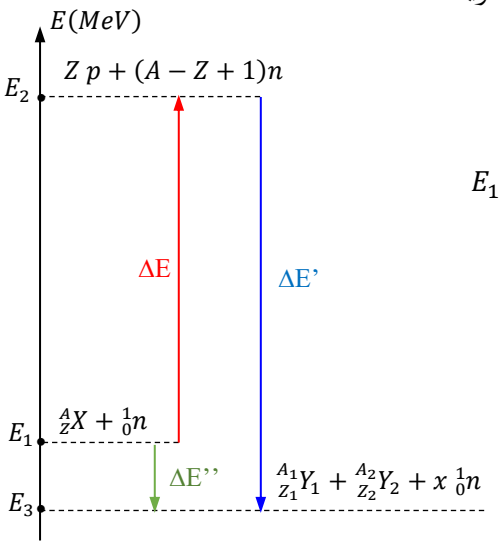
الطاقة المحرّرة الكلية هي $E_{libT} = N \times E_{lib} = 1{,}2 \times 10^{22} \times 17{,}6 = 2{,}11 \times 10^{23}\ MeV$

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

ملاحظة: في هذا المثال دائما تعطى لنا كتلتا الديتريوم والتريتيوم بحيث نجد عدد أنويتهما متساويا.

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

مخطّط الحصيلة الطاقوية لتفاعلي الإنشطاروالاندماج:



- تفاعل الانشطار:

E_1 : طاقة الكتلة للنواة ^A_ZX ونوترون واحد، حيث $E_1 = [m(^A_ZX) + m_n] \times 931{,}5$

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

$$\Delta E = [Z\ m_p + (A - Z)m_n + m_n - m\ (^A_ZX) - m_n] \times 931{,}5$$

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

$$\boldsymbol{\Delta E = E_l(^A_ZX)}$$

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

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

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

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

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):

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

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

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

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

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

- تفاعل الاندماج:

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

بنفس الطرق التي اتبعناها في الحصيلة الطاقوية للانشطار نكتب:

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

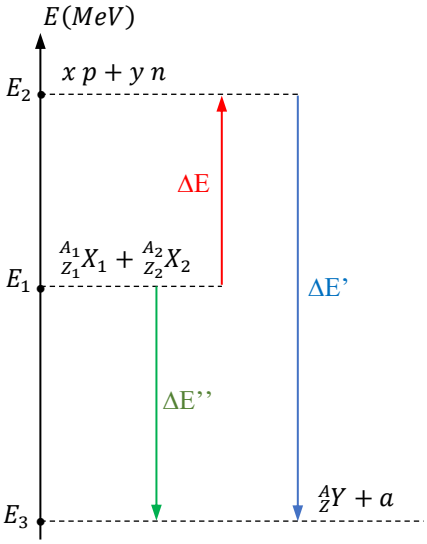
$$E_2 = \left[x\,m_p + y\,m_n\right] \times 931{,}5$$

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

$$\boldsymbol{\Delta E = E_2 - E_1 = E_l\,(X_1) + E_l\,(X_2)}$$

$$\boldsymbol{\Delta E' = E_3 - E_2 = -E_l\,(Y)}$$

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



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 تفكيك النواة بالنمط β .