

النوى - الكتلة والطاقة

Noyau-Masse et énergie

1 التكافؤ «كتلة-طاقة»

1.1- علاقة انشتاين (Einstein)

يتوفر كل جسم كتلته m في سكون على طاقة E تسمى طاقة الكتلة وتعبيرها:

E : طاقة الكتلة بالجول (J)

m : الكتلة بالكيلوغرام (kg)

c : سرعة انتشار الضوء في الفراغ $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$$E = m.c^2$$

2.1- تغير الطاقة والكتلة

شكل 1 - تفقد الشمس 4.10^9 kg من كتلتها كل ثانية نتيجة الطاقة الإشعاعية التي تحررها

عندما تتغير كتلة مجموعة بالمقدار Δm خلال تحول ما، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو:

$$\Delta E = \Delta m.c^2$$

3.1- وحدات الطاقة والكتلة

أ- الإلكترون-فولط

عوض الجول (J)، تُستعمل في الفيزياء النووية وحدة للطاقة ملائمة أكثر هي الإلكترون-فولط (eV).

الإلكترون فولط هو مقدار الطاقة الحركية التي يكتسبها إلكترون خاضع لفرق جهد يساوي 1 فولط.

$$1\text{eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$$

ب- وحدة الكتلة الذرية

كتل الدقائق المدروسة في الفيزياء النووية صغيرة جداً، لذلك تُستعمل وحدة ملائمة للكتلة تسمى وحدة الكتلة الذرية (u).

وحدة الكتلة الذرية تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة الكربون 12.

$$1\text{u} = 1,66.10^{-27} \text{ kg}$$

بتطبيق علاقة انشتاين بالنسبة لكتلة $m=1\text{u}$ نجد: $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

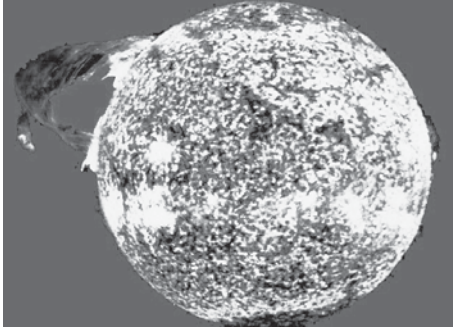
2 طاقة الربط

1.2- النقص الكتلي

النقص الكتلي Δm لنواة كتلتها m مقدار موجب يساوي الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة.

$$\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - m$$

مع: m_p : كتلة البروتون و m_n : كتلة النيوترون



ستنطفئ الشمس بعد أن تفقد عُشر كتلتها الحالية. ما المدة الزمنية التي تفصلني عن هذا الحدث إذا كانت كتلة الشمس هي $1,99.10^{30} \text{ kg}$ ؟؟؟



شكل 2 - مجموع كتل النويات أكبر من كتلة النواة

تطبيق 1

النقص الكتلي لنواة الزئبق $^{197}_{80}\text{Hg}$ هو $2,71281 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
احسب كتلة نواة الزئبق بالكيلوغرام، وبوحدة الكتلة الذرية.
نعطي: كتلة البروتون $m_p = 1,007276 \text{ u}$ كتلة النوترون: $m_n = 1,008665 \text{ u}$

2.2- طاقة الربط

طاقة الربط E_ℓ لنواة هي الطاقة التي يجب إعطاؤها للنواة في حالة سكون لفصل نوياتها وتبقى في حالة سكون.

$$E_\ell = \Delta m \cdot c^2 = [Zm_p + (A-Z)m_n - m] \cdot c^2$$

3.2- طاقة الربط بالنسبة لنوية

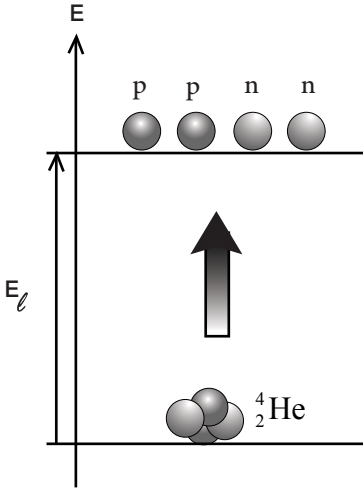
$$\mathcal{E} = \frac{E_\ell}{A}$$

نعرف طاقة الربط بالنسبة لنوية \mathcal{E} بالعلاقة:
مع E_ℓ طاقة الربط للنواة، و A عدد النويات.

وحدة طاقة الربط بالنسبة لنوية هي : MeV/nucleon .

كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة، كلما كانت النواة أكثر استقرارا،
والعكس صحيح.

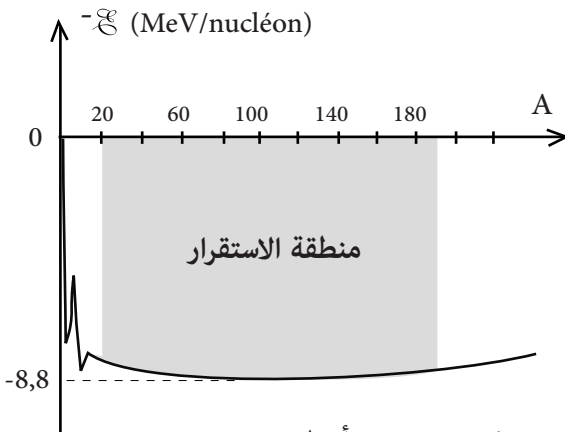
شكل 3 - يجب منح طاقة مقدارها $4,35 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ لفصل نويات الهيليوم



تطبيق 2

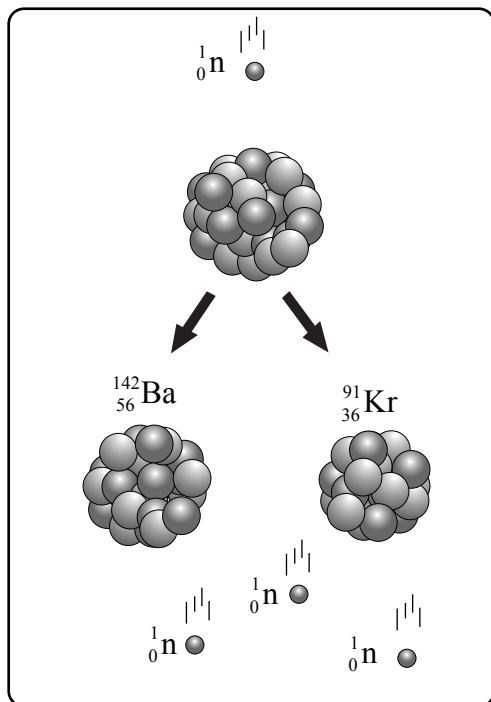
- 1- حدد مكونات نواة النظير 235 للأورانيوم $^{235}_{92}\text{U}$.
- 2- احسب النقص الكتلي لهذه النواة بوحدة الكتلة الذرية، ثم بالكيلوغرام.
نعطي: $m(^{235}_{92}\text{U}) = 234,99332 \text{ u}$ $m_p = 1,00727 \text{ u}$ $m_n = 1,00867 \text{ u}$ $1 \text{ u} = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- 3- احسب، بالجول ثم بـ MeV ، طاقة ربط هذه النواة.
نعطي: $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- 4- احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لهذه النواة.
- 5- قارن استقرار نواة الأورانيوم 235 مع نواة الراديوم ذي طاقة الربط بالنسبة لنوية $7,66 \text{ MeV/nucleon}$.

4.2- منحنى أسطون

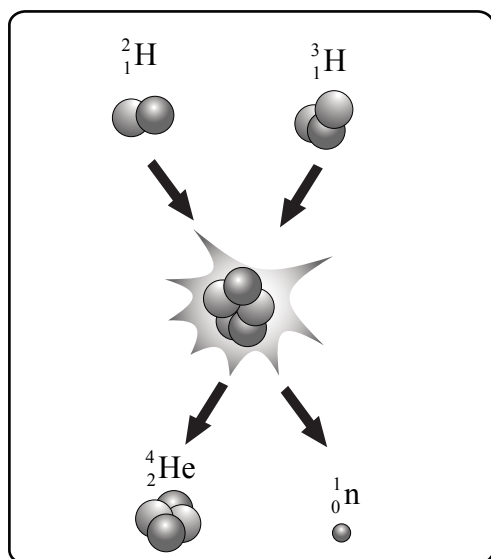


شكل 4 - منحنى أسطون

لمقارنة استقرار مختلف النوى، نستعمل منحنى أسطون الذي يمثل
تغيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية (\mathcal{E}) بدلالة عدد النويات A .
■ تكون النواة أكثر استقرارا كلما وُجدت في أسفل المنحنى.
■ بالنسبة لـ $20 < A < 190$ يضم هذا الجزء من المنحنى النويدات
الأكثر استقرارا مثل الحديد.
■ بالنسبة لـ $A < 20$ و $A > 190$ يضم هذان الجزءان نوى غير مستقرة.
يمكن لهذه النوى أن تتحول إلى نوى أكثر استقرارا على إثر نوعين من
التحولات النووية:



شكل 5 - انشطار نواة الأورانيوم



شكل 6 - الاندماج النووي

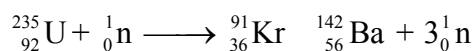
- النوى الخفيفة ($A < 20$) يمكنها أن تندمج لتكون نواة أكثر ثقلاً تنتمي إلى مجال الاستقرار. هذا التفاعل يسمى الاندماج النووي.
- النوى الثقيلة ($A > 190$) يمكنها أن تنشط إلى نواتين خفيفتين تنتميان إلى مجال الاستقرار. هذا التفاعل يسمى الانشطار النووي.

3 الانشطار والاندماج النووي

1.3- الانشطار النووي

الانشطار النووي تفاعل نووي محرض يتم خلاله انشطار نواة ثقيلة إلى نواتين خفيفتين عند تصادمها بنوترون.

مثال: انشطار نواة الأورانيوم 235 (شكل).



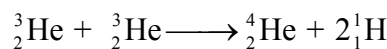
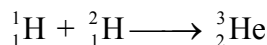
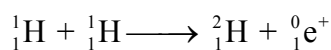
النوترونات الناتجة عن انشطار نواة الأورانيوم يمكنها أن تؤدي إلى تفاعلات انشطار أخرى فيحدث تفاعل نووي متسلسل.

النوية التي يمكنها أن تنشط (مثل الأورانيوم 235) تسمى نوية شظيرة. النوية التي يمكنها أن تعطي نوية شظيرة تسمى نوية خصبة.

2.3- الاندماج النووي

الاندماج النووي نفاعل نووي محرض يتم خلاله اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلاً.

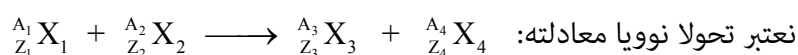
مثال: تنتج طاقة الشمس عن تفاعلات اندماج تؤدي إلى تكون الهيليوم



المعادلة الحصيلة للمعادلات السابقة هي: $4{}_1^1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + 2{}_1^0\text{e}^+$

4 الحصيلة الكتلية والطاقة

1.4- الحالة العامة



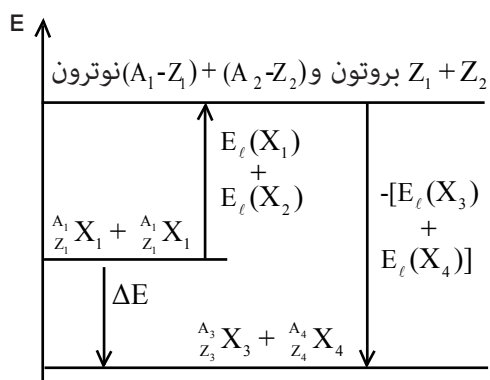
نعتبر تحولاً نووياً معادلته: حيث X رمز نواة أو دقيقة.

خلال هذا التحول، تغيرت كتلة المجموعة بالمقدار:

$$\Delta m = m_f - m_i = [m(\text{X}_3) + m(\text{X}_4)] - [m(\text{X}_1) + m(\text{X}_2)]$$

وتكون بذلك طاقة التفاعل هي:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = [m(\text{X}_3) + m(\text{X}_4) - m(\text{X}_1) - m(\text{X}_2)] \cdot c^2$$



شكل 7 - مخطط الطاقات

طاقة التفاعل مقدار جبري:

- $\Delta E < 0$ يكون التفاعل ناشرا للطاقة؛
- $\Delta E > 0$ يكون التفاعل ماصا للطاقة؛
- $\Delta E = 0$ يتم التفاعل دون تغيير الطاقة.

باستعمال قانوني صودي للانحفاظ وتعبير طاقة الربط لنواة يمكن كتابة طاقة

تفاعل نووي على الشكل:

$$\Delta E = [E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)] - [E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)]$$

ملحوظة:

الطاقة المحررة (الناتجة) من طرف تفاعل نووي مقدار موجب: $E_{\text{libérée}} = |\Delta E|$

تطبيق 3

نعتبر معادلة تفاعل نووي: ${}_{Z_1}^{A_1}X_1 + {}_{Z_2}^{A_2}X_2 \longrightarrow {}_{Z_3}^{A_3}X_3 + {}_{Z_4}^{A_4}X_4$

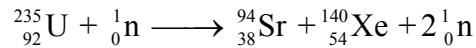
- 1- اكتب معادلة الحصيلة الطاقية لهذا التفاعل بدلالة طاقات الربط $E_\ell(X_i)$.
- 2- اعط تعبير $E_\ell(X_i)$ بدلالة الأعداد الذرية Z_i وأعداد الكتلة A_i وكتل النوى $m(X_i)$.
- 3- ذكر بقانوني الانحفاظ.
- 4- باستعمال قانوني الانحفاظ، بين أن معادلة الحصيلة الطاقية السابقة تكتب على الشكل:

$$\Delta E = [m(X_3) + m(X_4) - m(X_1) - m(X_2)] \cdot c^2$$

2.4- حالتا الانشطار والاندماج

أ- حالة الانشطار النووي

نعتبر أحد تفاعلات انشطار الأورانيوم 235



طاقة هذا التفاعل هي:

$$\Delta E = [(m({}_{38}^{94}\text{Sr}) + m({}_{54}^{140}\text{Xe}) + 2m_n) - (m({}_{92}^{235}\text{U}) + m_n)] \cdot c^2$$

تطبيق 4

1- احسب الطاقة الناتجة عن انشطار نواة أورانيوم 235 الذي يتم حسب المعادلة السابقة.

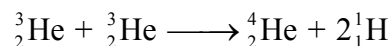
2- استنتج الطاقة ΔE_m الناتجة عن انشطار مول واحد من نوى الأورانيوم 235.

3- قارن ΔE_m مع الطاقة الناتجة عن احتراق مول واحد من الميثان والتي تساوي $8,5 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$.

نعطي: $m(n) = 1,00087u$ $m({}_{92}^{235}\text{U}) = 234,993u$ $m({}_{54}^{140}\text{Xe}) = 139,892u$ $m({}_{38}^{94}\text{Sr}) = 93,8954u$

ب- حالة الاندماج النووي

نعتبر تفاعل اندماج نواتين للهيليوم:



طاقة هذا التفاعل هي:

$$\Delta E = [2m({}_1^1\text{H}) + m({}_2^4\text{He}) - 2m({}_2^3\text{He})] \cdot c^2$$

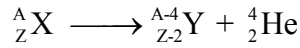
تطبيق 5

- 1- احسب الطاقة الناتجة عن اندماج نواتين للهيليوم 3 حسب المعادلة السابقة.
 - 2- استنتج الطاقة ΔE_m الناتجة عن اندماج مول واحد من الهيليوم 3.
 - 3- قارن ΔE_m مع الطاقة الناتجة عن احتراق مول واحد من الميثان والتي تساوي $8,5 \cdot 10^5 \text{ J.mol}^{-1}$.
- نعطي: $c = 2,99792 \text{ m.s}^{-1}$ $m({}_1^1\text{H}) = 1,0073 \text{ u}$ $m({}_2^4\text{He}) = 4,0015 \text{ u}$ $m({}_2^3\text{He}) = 3,0149 \text{ u}$

3.4- حالة الأنشطة الإشعاعية

أ- النشاط الإشعاعي α

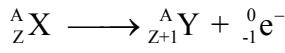
معادلة النشاط الإشعاعي α هي:



طاقة هذا التحول هي: $\Delta E = [m({}_{Z-2}^{A-4}Y) + m({}_2^4\text{He}) - m({}_Z^AX)] \cdot c^2$

ب- النشاط الإشعاعي β^-

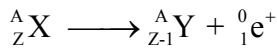
معادلة النشاط الإشعاعي β^- هي:



طاقة هذا التحول هي: $\Delta E = [m({}_{Z+1}^AY) + m({}_{-1}^0e^-) - m({}_Z^AX)] \cdot c^2$

ج- النشاط الإشعاعي β^+

معادلة النشاط الإشعاعي β^+ هي:



طاقة هذا التحول هي: $\Delta E = [m({}_{Z-1}^AY) + m({}_1^0e^+) - m({}_Z^AX)] \cdot c^2$

تطبيق 6

نعتبر نويدة البولونيوم المشعة ${}_{84}^{210}\text{Po}$.

- 1- احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لهذه النوية.
 - 2- تتفتت النوية السابقة لتعطي نويدة الرصاص ${}_{82}^{206}\text{Pb}$.
 - 3- اكتب معادلة التفتت، واستنتج نوع النشاط الإشعاعي لنوية البولونيوم ${}_{84}^{210}\text{Po}$.
 - 4- احسب الطاقة الناتجة عن هذا التفتت بـ MeV.
 - 4- أعطى قياسان لنشاط عينة مشعة من نويدات البولونيوم 210 في اللحظتين $t_1 = 90 \text{ s}$ و $t_2 = 180 \text{ s}$ على التوالي القيمتين $a_1 = 8 \cdot 10^{20} \text{ Bq}$ و $a_2 = 5,1 \cdot 10^{20} \text{ Bq}$.
 - احسب عمر النصف $t_{1/2}$ لنوية البولونيوم ${}_{84}^{210}\text{Po}$.
- نعطي: $m({}_{82}^{206}\text{Pb}) = 205,9935 \text{ u}$ $m({}_{84}^{210}\text{Po}) = 210,0008 \text{ u}$ كتلة الدقيقة المتولدة: $4,0026 \text{ u}$

5 تطبيقات وأخطار النشاط الإشعاعي

للأنشطة الإشعاعية تطبيقات كثيرة وأخطار نذكر منها:

- مجال الطب: تشخيص ومعالجة بعض الأمراض
- مجال الكيمياء: تتبع حركية بعض التفاعلات...
- مجال الطاقة: إنتاج الطاقة الكهربائية باستغلال تفاعل الانشطار
- المجال الحربي: تصنيع القنبلة النووية والقنبلة الهيدروجينية وبعض الأسلحة الأخرى
- مجال الصناعة: الكشف عن عيوب التصنيع...