النوى – الكتلة والطاقة
Noyau-Masse et énergie

1 التكافؤ «كتلة-طاقة»

1.1- علاقة انشتاين (Einstein)

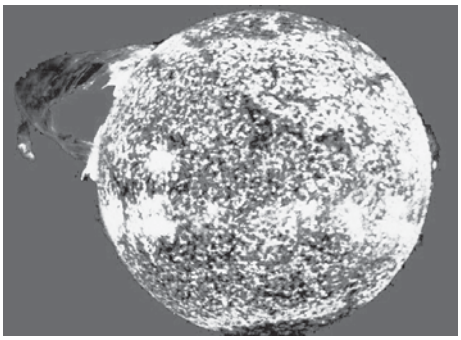
يتوفر كل جسم كتلته m في سكون على طاقة E تسمى طاقة الكتلة وتعبيرها:

$E = m.c^2$

E : طاقة الكتلة بالجول (J)

m: الكتلة بالكيلوغرام (kg)

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



شكل1 - تفقد الشمس $4.10^9 kg$ من كتلتها كل ثانية نتيجة الطاقة الإشعاعية التي تحررها

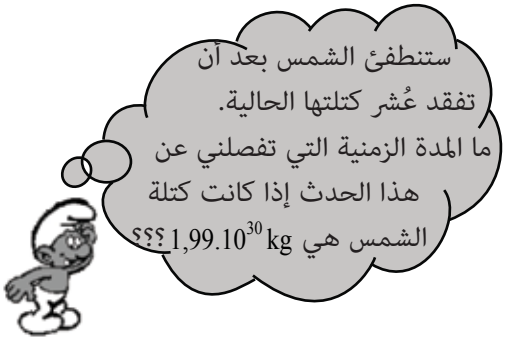
2.1- تغير الطاقة والكتلة

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

ب- وحدة الكتلة الذرية

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

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

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

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

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 النوترون

شكل2 - مجموع كتل النويات أكبر من كتلة النواة

ع.حميم

تطبيق 1

النقص الكتلي لنواة الزئبق $^{197}_{80}Hg$ هو $2,71281.10^{-27}\ kg$.

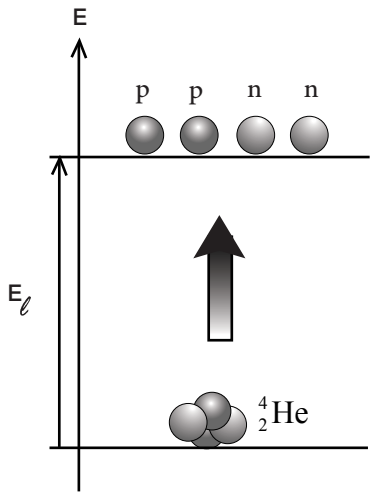
احسب كتلة نواة الزئبق بالكيلوغرام، وبوحدة الكتلة الذرية.

نعطي: كتلة البروتون $m_p=1,007276\ u$ كتلة النوترون: $m_n=1,008665\ u$

2.2-طاقة الربط

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

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



شكل 3 - يجب منح طاقة مقدارها $4,35.10^{-12}J$ لفصل نويات الهيليوم

3.2-طاقة الربط بالنسبة لنوية

نعرّف طاقة الربط بالنسبة لنوية $\mathcal{E}$ بالعلاقة: $\mathcal{E}=\frac{E_\ell}{A}$

مع E_ℓ طاقة الربط للنواة، وA عدد النويات.

وحدة طاقة الربط بالنسبة لنوية هي : MeV/nucléon.

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

تطبيق 2

1- حدد مكونات نواة النظير 235 للأورانيوم $^{235}_{92}U$.

2- احسب النقص الكتلي لهذه النواة بوحدة الكتلة الذرية، ثم بالكيلوغرام.

نعطي: $m(^{235}_{92}U)=234,99332u$ $m_p=1,00727u$ $m_n=1,00867u$ $1u=1,6605402.10^{-27}kg$

3- احسب، بالجول ثم بِ MeV، طاقة ربط هذه النواة.

نعطي: $1eV=1,60.10^{-19}\ J$ $c=2,998.10^8\ m.s^{-1}$

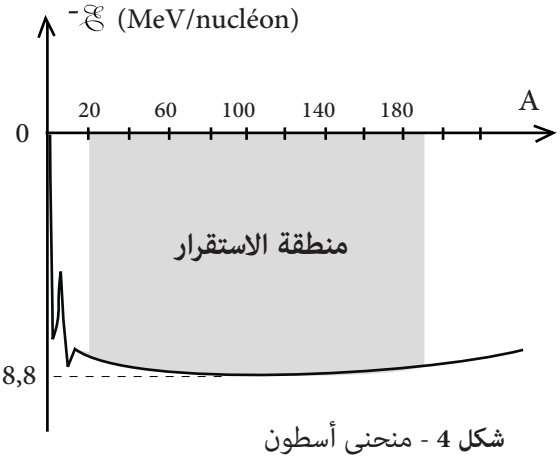
4- احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لهذه النواة.

5- قارن استقرار نواة الأورانيوم 235 مع نواة الراديوم ذي طاقة الربط بالنسبة لنوية 7,66MeV/nucléon.

4.2-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 لِ $20 < A < 190$ يضم هذا الجزء من المنحنى النويدات الأكثر استقرارا مثل الحديد.
- بالنسبة لِ $A<20$ 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 4 - منحنى أسطون

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

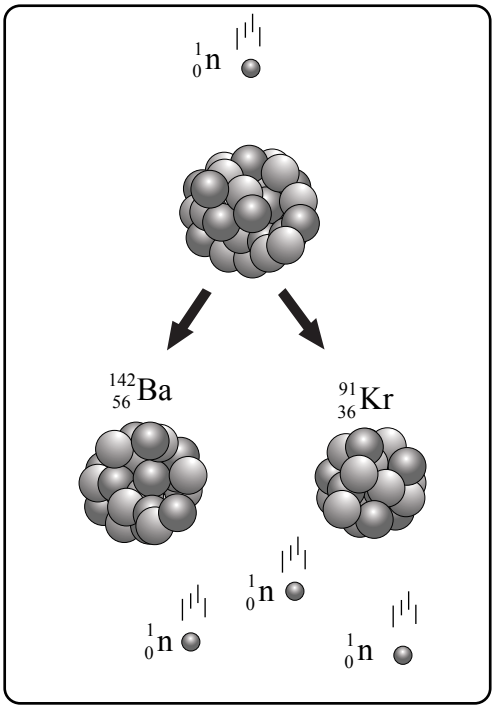
3 الانشطار والاندماج النوويان

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).

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{91}_{36}Kr \quad {}^{142}_{56}Ba + 3{}^{1}_{0}n$$



شكل 5 - انشطار نواة الأورانيوم

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

النويدة التي يمكنها أن تنشطر (مثل الأورانيوم 235) تسمى **نويدة شطورة**.

النويدة التي يمكنها أن تعطي نويدة شطورة تسمى **نويدة خصبة**.

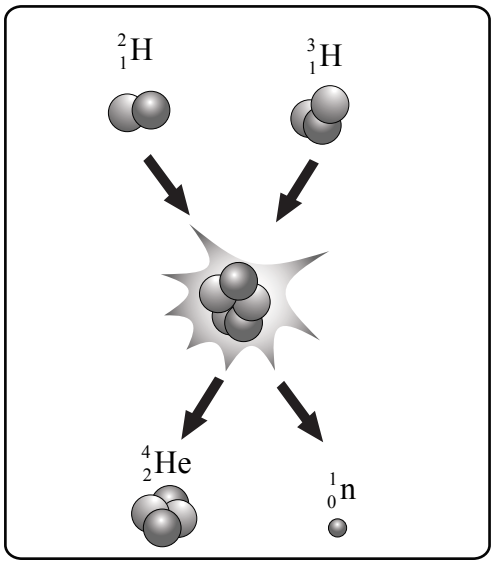
2.3- الاندماج النووي

الاندماج النووي تفاعل نووي محرض يتم خلاله اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا.

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

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{1}e^{+}$$
$$^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He$$
$$^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2{}^{1}_{1}H$$

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



شكل 6 - الاندماج النووي

4 الحصيلة الكتلية والطاقية

1.4- الحالة العامة

نعتبر تحولا نوويا معادلته: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \longrightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$

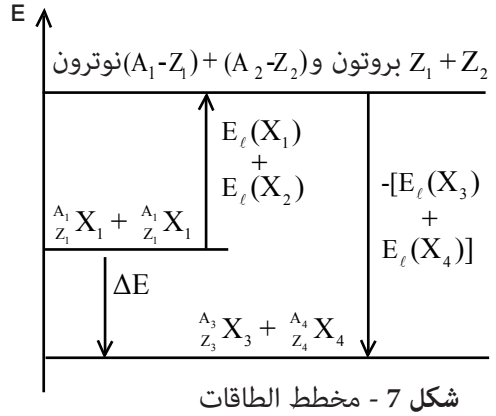
حيث X رمز نواة أو دقيقة.

خلال هذا التحول، تغيرت كتلة المجموعة بالمقدار:

$$\Delta m = m_f - m_i = \left[m(X_3) + m(X_4) \right] - \left[m(X_1) + m(X_2) \right]$$

وتكون بذلك **طاقة التفاعل** هي:

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



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 تغير الطاقة.

باستعمال قانوني صودي للانحفاظ وتعبير طاقة الربط لنواة يمكن كتابة طاقة تفاعل نووي على الشكل:

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

ملحوظة:

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

تطبيق 3

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

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، بيّن أن معادلة الحصيلة الطاقية السابقة تكتب على الشكل:

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

2.4- حالتا الانشطار والاندماج

أ- حالة الانشطار النووي

نعتبر أحد تفاعلات انشطار الأورانيوم 235

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + 2\,{}^{1}_{0}n$$

طاقة هذا التفاعل هي:

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

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 $8{,}5.10^5\ J.mol^{-1}$.

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

ب- حالة الاندماج النووي

نعتبر تفاعل اندماج نواتين للهيليوم:

$${}^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{1}_{1}H$$

طاقة هذا التفاعل هي:

$$\Delta E = \left[2m({}^{1}_{1}H) + m({}^{4}_{2}He) - 2m({}^{3}_{2}He)\right].c^2$$

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 $8,5.10^5\ J.mol^{-1}$.

نعطي: $m(^3_2He)=3,0149\,u$ $m(^4_2He)=4,0015\,u$ $m(^1_1H)=1,0073\,u$ $c=2,99792\,m.s^{-1}$

3.4- حالة الأنشطة الإشعاعية

أ- النشاط الإشعاعي α

معادلة النشاط الإشعاعي α هي: $^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$

طاقة هذا التحول هي: $\Delta E=\left[m(^{A-4}_{Z-2}Y)+m(^4_2He)-m(^A_ZX)\right].c^2$

ب- النشاط الإشعاعي β^-

معادلة النشاط الإشعاعي β^- هي: $^A_ZX \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e^-$

طاقة هذا التحول هي: $\Delta E=\left[m(^{A}_{Z+1}Y)+m(^0_{-1}e^-)-m(^A_ZX)\right].c^2$

ج- النشاط الإشعاعي β^+

معادلة النشاط الإشعاعي β^+ هي: $^A_ZX \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^0_{1}e^+$

طاقة هذا التحول هي: $\Delta E=\left[m(^{A}_{Z-1}Y)+m(^0_{1}e^+)-m(^A_ZX)\right].c^2$

تطبيق 6

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

1-احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لهذه النويدة.

2- تتفتت النويدة السابقة لتعطي نويدة الرصاص $^{206}_{82}Pb$.

اكتب معادلة التفتت، واستنتج نوع النشاط الإشعاعي لنويدة البولونيوم $^{210}_{84}Po$.

3- احسب الطاقة الناتجة عن هذا التفتت بِ MeV.

4- أعطى قياسان لنشاط عينة مشعة من نويدات البولونيوم 210 في اللحظتين $t_1=90\,j$ و $t_2=180\,j$ على التوالي القيمتين $a_1=8.10^{20}\,Bq$ و $a_2=5,1.10^{20}\,Bq$.

احسب عمر النصف $t_{1/2}$ لنويدة البولونيوم $^{210}_{84}Po$.

نعطي: $m(^{210}_{84}Po)=210,0008\,u$ $m(^{206}_{82}Pb)=205,9935\,u$ كتلة الدقيقة المتولدة: 4,0026u

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: انتاج الطاقة الكهربائية باستغلال تفاعل الانشطار
- المجال الحربي: تصنيع القنبلة النووية والقنبلة الهيدروجينية وبعض الأسلحة الأخرى
- مجال الصناعة: الكشف عن عيوب التصنيع...