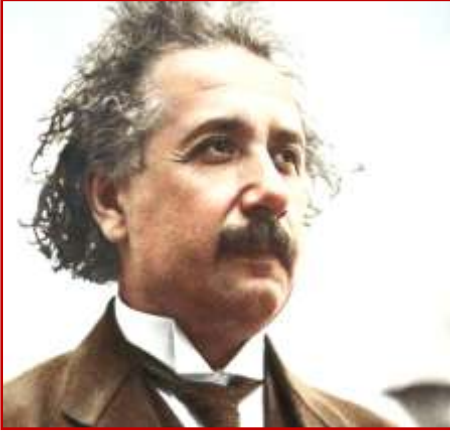


النور - الكتلة والطاقة**الدرس الخامس****Noyaux – masse et énergie****I. التكافؤ كتلة – طاقة.****1. علاقة أينشتاين:**

في سنة 1905م مكنت النسبية الخاصة التي أنشأها العالم ألبرت أينشتاين، من التوصل إلى أن هناك علاقة وطيدة بين الكتلة و الطاقة، حيث أن كل مجموعة كتلتها m في حالة سكون تمتلك طاقة E تسمى طاقة الكتلة أو علاقة أينشتاين، و تعبيرها هو:

$$E = m \cdot c^2$$

حيث أن E وحدتها الجول (J)، و m كتلة المجموعة وحدتها (Kg)، و c سرعة الضوء تقدر بـ: $c = 3.10^8 \text{m/s}$.

و كنتيجة لعلاقة أينشتاين فإن كل تغير لكتلة المجموعة (Δm) خلال تحول ما، يقابله تغير في طاقة الكتلة ΔE

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

لهذه المجموعة بحيث:

2. وحدات الكتلة و الطاقة:**أ. وحدة الكتلة الذرية:**

في الفيزياء النووية نتعامل مع دقائق صغيرة جدا ذات كتل أصغر، لذلك فإن الكيلوغرام وحدة غير ملائمة للتعبير عن كتلة هذه الدقائق، مما أدى إلى البحث عن وحدة أكثر ملائمة، و قد تم التوصل إلى وحدة سميت **بوحدة الكتلة الذرية** التي يرمز لها بالحرف u ، و المعرفة بأنها $1/12$ من كتلة ذرة الكربون ^{12}C ، بحيث:

$$1u = \frac{m(^{12}\text{C})}{12} \quad \text{أي أن} \quad 1u = \frac{M(^{12}\text{C})}{12 \times N_A}$$

$$1u = \frac{12 \times 10^{-3}}{12 \times 6,02 \cdot 10^{23}} \quad \text{تطبيق عددي:}$$

$$1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{Kg} \quad \text{و منه فإن:}$$

ب. وحدة الطاقة الذرية:

إن وحدة الجول في الفيزياء النووية وحدة غير ملائمة للتعبير عن الطاقة، لذلك و جب استعمال وحدة بديلة تسمى **الإلكترون – فولط (eV)**، أو **الميغا إلكترون – فولط (MeV)**، بحيث:

$$1\text{eV} = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

$$\text{و: } 1\text{MeV} = 10^6 \text{eV} = 1,602177 \cdot 10^{-13} \text{J}$$

مثال**حساب كتلة البروتون بوحدة الكتلة الذرية**

$$\text{علما أن: } m_p = 1,6725 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$$

$$\text{لدينا: } m_p = \frac{1,6725 \times 10^{-27}}{1,66 \times 10^{-27}}$$

$$\text{ومنه: } m_p = 1,0075u$$

ج. الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية:

باستعمال علاقة أينشتاين لدينا: $E = m \cdot c^2$

$$E = 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$$

$$E = 1492,42 \cdot 10^{-13} \text{ J : أي}$$

$$E = \frac{1492,42 \times 10^{-13}}{1,602177 \times 10^{-13}} = 931,5 \text{ MeV} = 1 \text{ u} \cdot c^2 \text{ ومنه:}$$

إذن الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية هي: $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

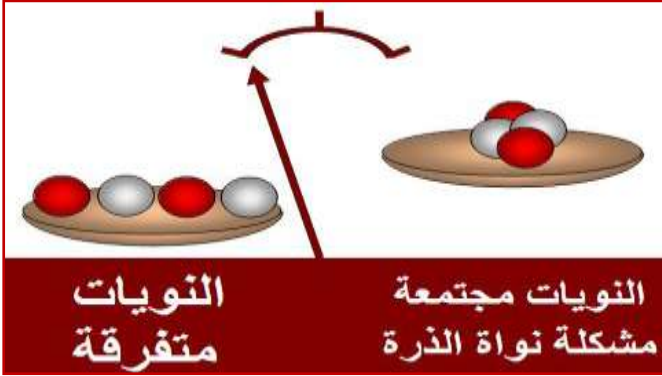
II. طاقة الربط

1. النقص الكتلي:

تثبت تجريبيا أن كتلة نواة الذرة هي دائما أصغر من مجموع كتل نوياتها المكونة لها و هي متفرقة. الفرق بينهما يسمى **النقص الكتلي**، ويرمز له بالرمز Δm ، و هو قيمة موجبة.

يعرف النقص الكتلي لنواة رمزها ${}^A_Z X$ بالعلاقة

التالية:



$$\Delta m = [Z \times m_p + (A - Z) \times m_n] - m({}^A_Z X)$$

حيث m_p و m_n و ${}^A_Z X$ كتلة كل من البروتون و النوترون و نواة الذرة على التوالي.

2. طاقة الربط لنواة:

يرجع تماسك النواة إلى وجود قوى تأثيرات بينية قوية بين النويات و هي ذات شدة كبيرة، و لفصل هذه النويات عن بعضها البعض و جب منح هذه النواة طاقة لازمة بغية تحقيق ذلك. و هذه الطاقة المبتغاة تسمى **طاقة الربط لنواة**.

و منه فإن **طاقة الربط لنواة** هي الطاقة اللازم منحها لنواة ${}^A_Z X$ في حالة سكون لتفتيتها إلى نويات منفصلة و في سكون، وهي مقدار موجب، و يرمز لهذه الطاقة بالرمز E_1 ، وتعبيرها:

$$E_1 = \Delta m \cdot c^2 = [Z \times m_p + N \times m_n] - m({}^A_Z X) \cdot c^2$$

3. طاقة الربط لنوية:

طاقة الربط لنوية او طاقة الربط المتوسطة لنوية ، هي الطاقة الضرورية لانتراع نوية واحدة من النواة، وحدتها هي (MeV/nucleon)، و تعرف بالعلاقة:

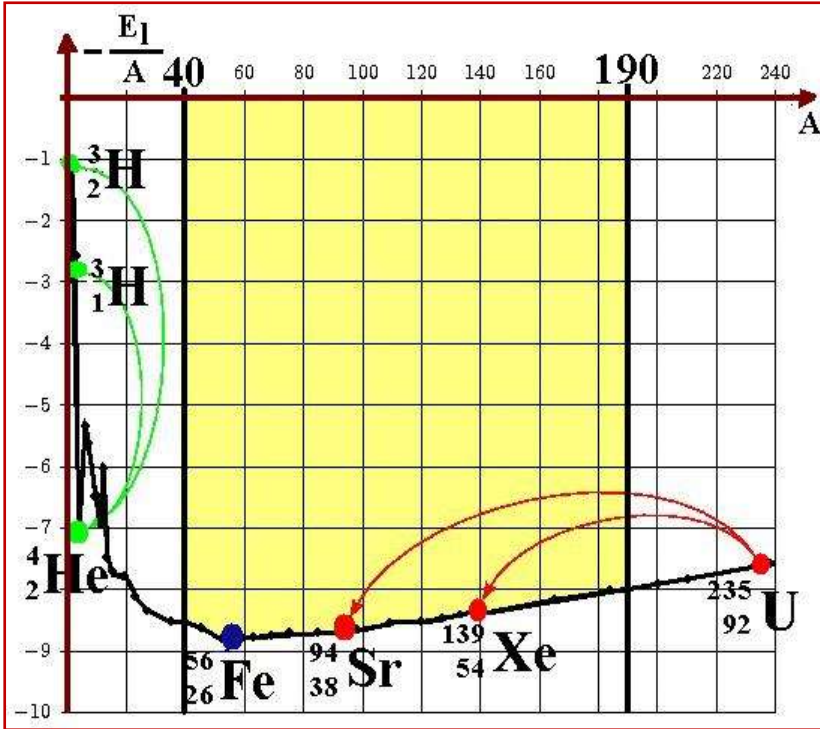
تمكننا طاقة الربط لنوية من مقارنة النويدات من حيث استقرارها، فكلما كانت كبيرة كلما كانت النوية أكثر استقرارا.

$$\mathcal{E} = \frac{E_1}{A}$$

4. منحنى أسطون:

يمكن تمييز و مقارنة استقرار مختلف النويدات انطلاقا من طاقة الربط بالنسبة لنوية. لذلك تم خط منحنى يسمى منحنى أسطون، و هو عبارة عن منحنى يمثل تغيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية (E_b) بدلالة عدد النويات A.

و يقسم منحنى أسطون كما يلي:



- ♦ **المجال $40 \leq A \leq 190$:** تضم هذه المنطقة النويدات المستقرة التي لها طاقة ربط متوسطة بالنسبة لنوية تقريبا تساوي 8 MeV/nucleon ، و تعتبر نوية الحديد 56 الويدة الأكثر استقرارا.
- ♦ **المجال $A < 40$:** تضم هذه المنطقة النويدات الخفيفة غير المستقرة، حيث يمكنها أن تتحول إلى نوى مستقرة عن طريق الاندماج فيما بينها.
- ♦ **المجال $A > 190$:** تضم هذه المنطقة النويدات الثقيلة غير المستقرة، حيث يمكنها أن تتحول إلى نوى مستقرة عن طريق الانشطار إلى نويدات أكثر استقرارا.

5. تطبيق 1:

الأسئلة

$$m(^{85}_{37}\text{Rb}) = 84,89144\text{u}$$

$$m(^{89}_{37}\text{Rb}) = 88,89193\text{u}$$

$$m_n = 1,00866\text{u} \text{ و } m_p = 1,00728\text{u}$$

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

- الروبيديوم ($^{85}_{37}\text{Rb}$) نواة مستقرة ، غير أن الروبيديوم ($^{89}_{37}\text{Rb}$) غير مستقرة إشعاعية النشاط β^- .
- (1) أحسب النقص الكتلي لنظيري الروبيديوم.
 - (2) أحسب طاقة الربط لنظيري الروبيديوم.
 - (3) أحسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لنظيري الروبيديوم.
 - (4) علل استقرار الروبيديوم 85 و عدم استقرار الروبيديوم 89.

الأجوبة

(1) حساب النقص الكتلي لنظيري الروبيديوم:

بالنسبة للروبيديوم 85

$$\Delta m = [Z \times m_p + N \times m_n] - m(^{85}_{37}\text{Rb})$$

$$\Delta m = [37 \times 1,00728 + 48 \times 1,00866] - 84,89144$$

$$\Delta m = 0,7936\text{u} \text{ ومنه}$$

بالنسبة للروبيديوم 89

$$\Delta m = [Z \times m_p + N \times m_n] - m(^{89}_{37}\text{Rb})$$

$$\Delta m = [37 \times 1,00728 + 52 \times 1,00866] - 88,89193$$

$$\Delta m = 0,82775\text{u} \text{ ومنه}$$

(2) حساب طاقة الربط لنظيري الروبيديوم:

بالنسبة للروبيديوم 85

$$E_1 = \Delta m \cdot c^2$$

$$E_1 = 0,7936 \cdot 931,5$$

$$E_1 = 739,24 \text{ MeV} \text{ ومنه}$$

بالنسبة للروبيديوم 89

$$E_1 = \Delta m \cdot c^2$$

$$E_1 = 0,82775 \cdot 931,5$$

$$E_1 = 771,05 \text{ MeV} \text{ ومنه}$$

(3) حساب طاقة الربط بالنسبة لنوية نظيري الروبيديوم.

بالنسبة للروبيديوم 89

$$\mathcal{E} = \frac{E_1}{A} \text{ لدينا:}$$

$$\mathcal{E} = 771,05/89 \text{ أي:}$$

$$\mathcal{E} = 8,6634 \text{ MeV/nucleon ومنه:}$$

$$\mathcal{E} (^{89}_{37}\text{Rb}) > \mathcal{E} (^{85}_{37}\text{Rb}) \text{ ومنه فإن}$$

بالنسبة للروبيديوم 85

$$\mathcal{E} = \frac{E_1}{A} \text{ لدينا:}$$

$$\mathcal{E} = 739,24/85 \text{ أي:}$$

$$\mathcal{E} = 8,6969 \text{ MeV/nucleon ومنه:}$$

(4) بمقارنة طاقتي الربط لنوية بالنسبة لكل نظير بأخر نجد أن :

الروبيديوم 85 مستقر على الروبيديوم 89.

III. الحصيلة الكتلية و الحصيلة الطاقية لتحول نووي.

1. الحالة العامة:

نعتبر تفاعلا نوويا معبر عنه بالمعادلة العامة التالية: $A_1X_1 + A_2X_2 \rightarrow A_3X_3 + A_4X_4$ ، حيث يمثل الرمز ${}^{A_i}_{Z_i}X_i$ نواة عنصر كيميائي أو دقيقة معينة.

تكتب الحصيلة الطاقية أو طاقة تحول نووي كما يلي:

♦ **باستعمال طاقة الربط لنواة:**

لدينا الحصيلة الطاقية تكتب كما يلي:

$$\Delta E = [E_1(X_1) + E_1(X_2)] - [E_1(X_3) + E_1(X_4)]$$

$$\Delta E = \sum E_1(\text{Réactifs}) - \sum E_1(\text{Produits}) \text{ أي أن:}$$

♦ **باستعمال الحصيلة الكتلية:** نعوض طاقة الكتلة $E_1(X_i)$ بتعبيرها و نستعمل قانوني صودي للانحفاظ فننتوصل إلى تعبير الحصيلة الطاقية بدلالة الحصيلة الكتلية. (البرهنة في آخر صفحة)

$$\Delta E = [(m(X_3) + m(X_4)) - (m(X_1) + m(X_2))] \cdot c^2 \text{ أي أن:}$$

$$\Delta E = [\sum m(\text{Produits}) - \sum m(\text{Réactifs})] \cdot c^2 \text{ أي أن:}$$

$$E_{\text{libéré}} = |\Delta E| = |\Delta m \cdot c^2| \text{ أي:}$$

● ملاحظات:

- إذا كانت $\Delta E < 0$ فإن التفاعل ناشر للطاقة.
- إذا كانت $\Delta E > 0$ فإن التفاعل ماص للطاقة.
- إذا كانت $\Delta E = 0$ فإن طاقة المجموعة لا تتغير خلال التفاعل.

2. تطبيقات على مختلف التحولات النووية التلقائية:

الأسئلة

- نويده الكوبالت 60 (${}^{60}_{27}\text{Co}$) إشعاعية النشاط β^- .
- (1) أكتب معادلة تفتت نويده الكوبالت 60 . كيف يفسر هذا الإشعاع؟
 - (2) أحسب طاقة الربط لنويده الكوبالت 60.
 - (3) أحسب الطاقة المحررة خلال تفتت 1g من الكوبالت 60.

معطيات:

$$m(^{60}_{27}\text{Co}) = 59,91901\text{u} \text{ و } m(^{60}_{28}\text{Ni}) = 59,91544\text{u}$$

$$m_e = 5,49 \cdot 10^{-4}\text{u} \text{ و } m_n = 1,008665\text{u} \text{ و } m_p = 1,007276\text{u}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1} \text{ و } 1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{Kg} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

الأجوبة

(1) معادلة التفتت و ذلك باستعمال قانون صودي نجد: $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + ^0_{-1}e$ يفسر هذا التحول بتحول

نوترون إلى بروتون حسب المعادلة التالية: $^1_0n \rightarrow ^1_1p + ^0_{-1}e$

(2) حساب طاقة الربط لنويده الكوبالت 60:

$$\text{لدينا: } E_1 = \Delta m \cdot c^2$$

$$E_1 = \left([Z \times m_p + N \times m_n] - m(^{60}_{27}\text{Co}) \right) \cdot c^2 \text{ أي:}$$

$$\text{و منه: } E_1 = 524,8\text{MeV}$$

(3) الطاقة المحررة خلال تفتت نويده واحدة للكوبالت 60:

$$E_{\text{libéré}} = |\Delta E| = |\Delta m \cdot c^2|$$

$$E_{\text{libéré}} = \left| \left(m(^{60}_{28}\text{Ni}) + m_e - m(^{60}_{27}\text{Co}) \right) \cdot c^2 \right| \text{ أي:}$$

$$E_{\text{libéré}} = \left| (59,91544 + 5,49 \cdot 10^{-4} - 59,91901) \cdot 931,5 \right| \text{ أي:}$$

$$E_{\text{libéré}} = |-2,814|\text{MeV} = 2,814\text{MeV} \text{ و منه:}$$

الطاقة المحررة خلال تفتت 1g من الكوبالت 60 هي: $E' = N \cdot E_{\text{libéré}}$

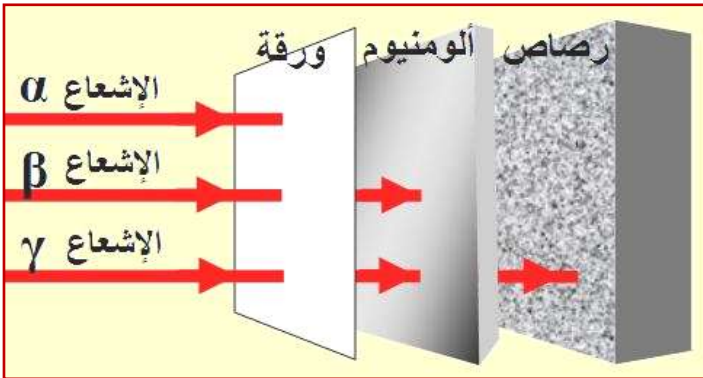
نحدد N عدد النويدات الموجودة في غرام واحد من الكوبالت 60:

$$E' = E_{\text{libéré}} \cdot \frac{m \cdot N_A}{M} = 2,814 \cdot \frac{1 \times 6,02 \cdot 10^{23}}{59,91901}$$

$$\text{إنن: } E' = 2,83 \cdot 10^{22}\text{MeV}$$

IV. استعمالات و أخطار النشاط الإشعاعي.

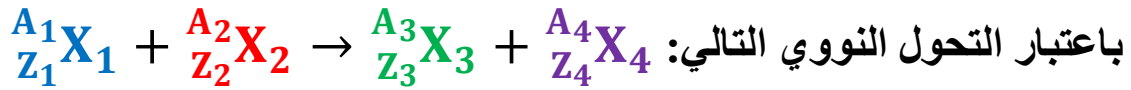
للإشعاعات النووية تأثير على جسم الإنسان و ذلك حسب الكمية التي يمتصها الجسم و بطبيعة الأشعة، بحيث:



- ♦ الإشعاعات α تخترق المادة بصعوبة، إذ تكفي ورقة لإيقافها، و تحدث حروقا سطحية على الجلد.
- ♦ الإشعاعات β أكثر نفاذية من α ، و يلزم لإيقافها عدة ميليمترات من الألومنيوم، و تستعمل في معالجة الخلايا السرطانية.
- ♦ الإشعاعات γ نفاذة بقدر كبير، و لإيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص، و تستعمل في تشخيص الأمراض بالصور

تستعمل هذه الإشعاعات النووية في الطب بكميات ضئيلة جدا كعنصر لاستشفاء و تشخيص الأمراض أو لمعالجتها. أما إن تم الإفراط فيها فهي تتفاعل مع المادة المكونة لجسم الإنسان، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة بعض التشوهات البيوكيميائية.

برهنة: (الفقرة – الحصيلة الكتلية و الحصيلة الطاقية لتحول نووي-)



$$Z_1+Z_2=Z_3+Z_4 \text{ و } A_1+A_2=A_3+A_4$$

و حسب قانون صودي فإن:

تكتب الحصيلة الطاقية لهذا التحول النووي بدلالة طاقة الربط لنواة بالنسبة لكل نويدة كما يلي:

$$\Delta E = \sum E_1(\text{Réactifs}) - \sum E_1(\text{Produits})$$

$$\Delta E = [E_1(X_1) + E_1(X_2)] - [E_1(X_3) + E_1(X_4)]$$

أي:

$$\Delta E = (\Delta m_1.c^2 + \Delta m_2.c^2) - (\Delta m_3.c^2 + \Delta m_4.c^2)$$

نعوض كل $E_1(X_i)$ بتعبيرها:

$$\Delta E = (\Delta m_1 + \Delta m_2 - \Delta m_3 - \Delta m_4).c^2$$

أي أن: $\Delta E = (\Delta m_1 + \Delta m_2 - \Delta m_3 - \Delta m_4).c^2$ علما أن: Δm_i هي النقص الكتلي للنويدة X_i ، نعوض كل نقص كتلي بتعبيره بالنسبة لكل نويدة، فنجد:

$$\Delta E = [(Z_1.m_p + (A_1 - Z_1)m_n - m(X_1)) + (Z_2.m_p + (A_2 - Z_2)m_n - m(X_2)) - (Z_3.m_p + (A_3 - Z_3)m_n - m(X_3)) - (Z_4.m_p + (A_4 - Z_4)m_n - m(X_4))].c^2$$

بعد النشر نجد:

$$\Delta E = [Z_1.m_p + A_1.m_n - Z_1.m_n - m(X_1) + Z_2.m_p + A_2.m_n - Z_2.m_n - m(X_2) - Z_3.m_p - A_3.m_n + Z_3.m_n + m(X_3) - Z_4.m_p - A_4.m_n + Z_4.m_n + m(X_4)].c^2$$

باستعمال التعميل نجد:

$$\Delta E = [(Z_1 + Z_2 - Z_3 - Z_4).m_p + (A_1 + A_2 - A_3 - A_4).m_n + (-Z_1 - Z_2 + Z_3 + Z_4).m_n - m(X_1) - m(X_2) + m(X_3) + m(X_4)].c^2$$

و حسب قانون صودي فإن: $Z_1 + Z_2 - Z_3 - Z_4 = 0$ و $A_1 + A_2 - A_3 - A_4 = 0$ و $-Z_1 - Z_2 + Z_3 + Z_4 = 0$

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

و منه فإن:

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

أي:

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

أي:

$$\Delta E = [\sum m(\text{Produits}) - \sum m(\text{Réactifs})].c^2$$

أي: