الأستاذ أيوب مرضي	مــــــــــادة الــــــفـــــيــــزيـــــاء	5 صفحات
مستوى الثانية بكالوريا علوم تجريبية	الــجــزء الثاني: التحولات النووية	
شعبة: علوم الحياة و الأرض	مدة الإنجاز (درس+تمارين): 4 س + 1 س	

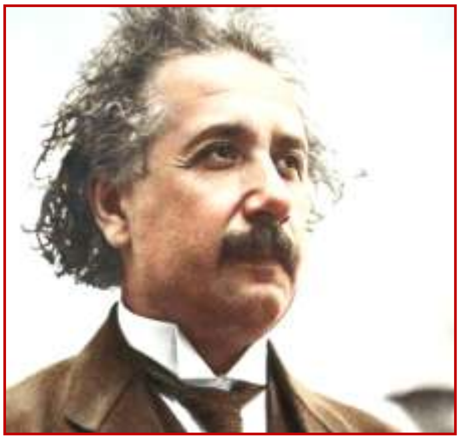
الدرس الخامس

النوى – الكتلة و الطاقة

Noyaux – masse et énergie

I. التكافؤ كتلة – طاقة.

1. علاقة إينشتاين:



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:

$$\mathbf{E = m \cdot c^2}$$

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

و كنتيجة لعلاقة إينشتاين فإن كل تغير لكتلة المجموعة (Δm) خلال تحول ما، يقابله تغير في طاقة الكتلة ΔE لهذه المجموعة بحيث: $$\mathbf{\Delta E = \Delta m \cdot c^2}$$

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**، بحيث:

$$1u = \frac{m(^{12}_{6}C)}{12} \quad \text{أي أن :} \quad 1u = \frac{M(^{12}_{6}C)}{12\times N_A}$$

تطبيق عددي: $$1u = \frac{12\times10^{-3}}{12\times 6{,}02.10^{23}}$$

و منه فإن: $$\mathbf{1u = 1{,}66.10^{-27} Kg}$$

مــثـــال

حساب كتلة البروتون بوحدة الكتلة الذرية

علما أن: $m_p = 1{,}6725.10^{-27} Kg$

لدينا: $$m_p = \frac{1{,}6725\times10^{-27}}{1{,}66\times10^{-27}}$$

و منه: $m_p = 1{,}0075u$

ب. وحدة الطاقة الذرية:

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

$$\mathbf{1eV = 1{,}602177.10^{-19}\ J}$$

و: $$\mathbf{1MeV = 10^6 eV = 1{,}602177.10^{-13}\ J}$$

ج. الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية:

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

$$E = 1{,}66.10^{-27} \cdot (3.10^{8})^2$$

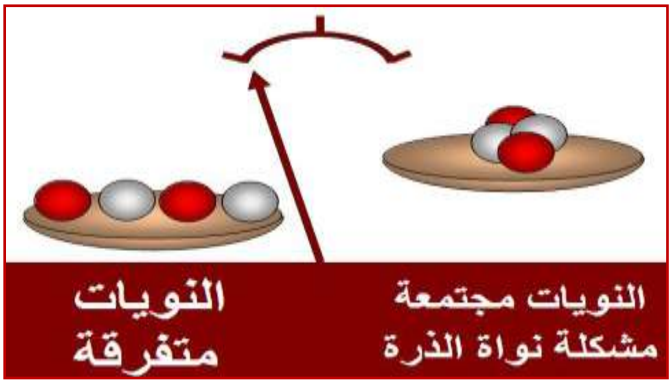
أي : $E = 1492{,}42 \cdot 10^{-13}\ J$

و منه: $E = \frac{1492{,}42\times10^{-13}}{1{,}602177\times10^{-13}} = 931{,}5\ MeV = 1u.c^2$

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

II. طاقة الربط.

1. النقص الكتلي:



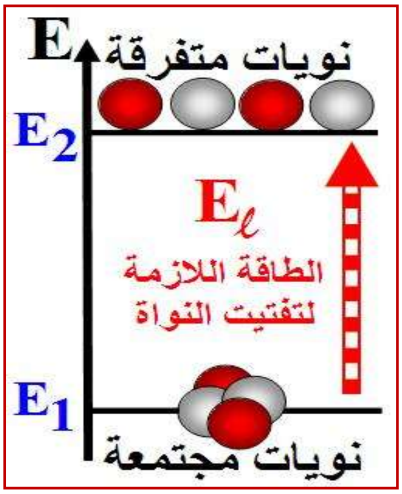
تبث تجريبيا أن كتلة نواة الذرة هي دائما أصغر من مجموع كتل نوياتها المكونة لها و هي متفرقة. الفرق بينهما يسمى **النقص الكتلي** ، ويرمز له بالرمز Δm، و هو قيمة موجبة.

يعرف النقص الكتلي لنواة رمزها $^{A}_{Z}X$ بالعلاقة التالية:

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

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 وجب 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_l، وتعبيرها:

$$E_l = \Delta m.c^2 = \left[\left[Z \times m_p + N \times m_n\right] - m(^{A}_{Z}X)\right].c^2$$

3. طاقة الربط لنوية:

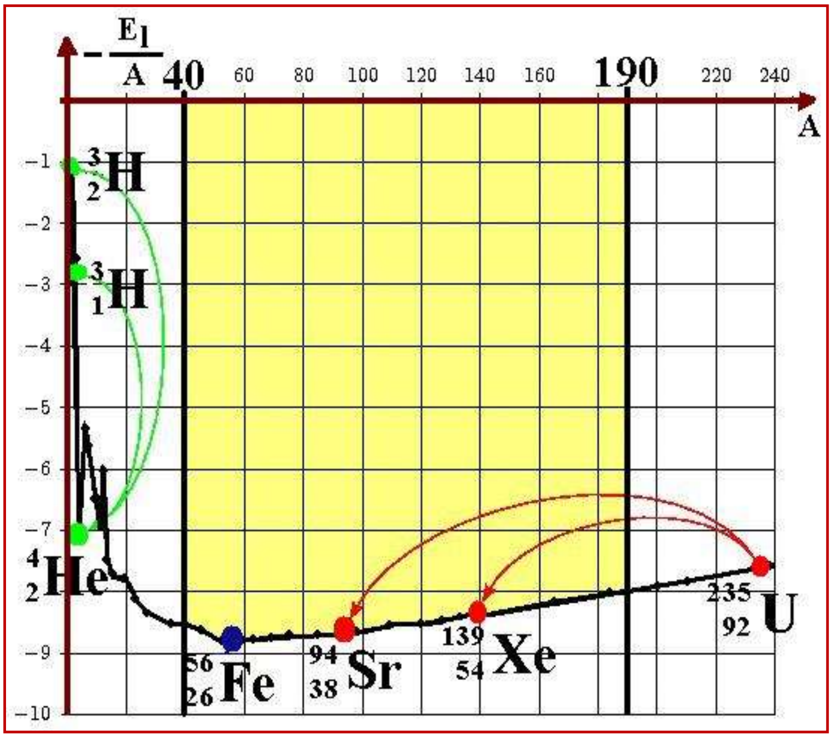
طاقة الربط لنوية او طاقة الربط المتوسطة لنوية ، هي الطاقة الضرورية لانتزاع نوية واحدة من النواة، وحدتها هي **(MeV/nucléon)**، و تعرف بالعلاقة:

$$\mathscr{E} = \frac{E_l}{A}$$

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

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 ($-\mathscr{E}$) 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 8MeV/nucléon، و تعتبر نويدة 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 ستقرارا.

5. تطبيق1:

الأسئلة

الروبيديوم $\left(^{85}_{37}Rb\right)$ نواة مستقرة ، غير أن الروبيديوم $\left(^{89}_{37}Rb\right)$ 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.

$$m\left(^{85}_{37}Rb\right) = 84,89144u$$
$$m\left(^{89}_{37}Rb\right) = 88,89193u$$
$$m_n = 1,00866u \text{ و } m_p = 1,00728u$$
$$1u = 931,5\ MeV/c^2$$

الأجوبة

1) حساب النقص الكتلي لنظيري الروبيديوم:

بالنسبة للروبيديوم 85

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

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

و منه $\Delta m = 0,7936u$

بالنسبة للروبيديوم 89

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

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

و منه $\Delta m = 0,82775u$

2) حساب طاقة الربط لنظيري الروبيديوم:

بالنسبة للروبيديوم 85

لدينا: $E_l = \Delta m.c^2$

أي: $E_l = 0,7936 . 931.5$

و منه: $E_l = 739,24MeV$

بالنسبة للروبيديوم 89

لدينا: $E_l = \Delta m.c^2$

أي: $E_l = 0,82775 . 931.5$

و منه: $E_l = 771,05MeV$

3) حساب طاقة الربط بالنسبة لنوية لنظيري الروبيديوم.

بالنسبة للروبيديوم 85

لدينا: $\mathscr{E} = \frac{E_l}{A}$

أي: $\mathscr{E} = 739,24/85$

و منه: $\mathscr{E} = 8,6969\text{MeV/nucleon}$

بالنسبة للروبيديوم 89

لدينا: $\mathscr{E} = \frac{E_l}{A}$

أي: $\mathscr{E} = 771,05/89$

و منه: $\mathscr{E} = 8,6634\text{MeV/nucleon}$

4) بمقارنة طاقتي الربط لنوية بالنسبة لكل نظير بآخر نجد أن : $\mathscr{E}\left({}^{85}_{37}Rb\right) > \mathscr{E}\left({}^{89}_{37}Rb\right)$ و منه فإن الريبيديوم 85 مستقر على الريبيديوم 89.

III. الحصيلة الكتلية و الحصيلة الطاقية لتحول نووي.

1. الحالة العامة:

نعتبر تفاعلا نوويا معبر عنه بالمعادلة العامة التالية: $${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$$ ، 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:

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

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

- باستعمال الحصيلة الكتلية: نعوض طاقة الكتلة $E_l(X_i)$ بتعبيرها و نستعمل قانوني صودي للانحفاظ فنتوصل إلى تعبير الحصيلة الطاقية بدلالة الحصيلة الكتلية. (البرهنة في آخر صفحة)

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

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

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

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

نويدة الكوبالت 60 $\left({}^{60}_{27}Co\right)$ إشعاعية النشاط β^-.

1) أكتب معادلة تفتت نويدة الكوبالت 60 . كيف يفسر هذا الإشعاع؟
2) أحسب طاقة الربط لنويدة الكوبالت 60.
3) أحسب الطاقة المحررة خلال تفتت 1g من الكوبالت 60.

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

$m_e = 5,49.10^{-4}u$ و $m_n = 1,008665u$ و $m_p = 1,007276u$

$N_A = 6,02.10^{23}mol^{-1}$ و $1u = 1,66.10^{-27}Kg = 931,5\ MeV/c^2$

الأجوبة

1) معادلة التفتت و ذلك باستعمال قانون صودي نجد: ${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e$ يفسر هذا التحول بتحول نوترون إلى بروتون حسب المعادلة التالية: ${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e$.

2) حساب طاقة الربط لنويدة الكوبالت 60:

لدينا: $E_l = \Delta m.c^2$

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

و منه: $E_l = 524,8MeV$

3) الطاقة المحررة خلال تفتت نويدة واحدة للكوبالت 60:

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

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

أي: $E_{libéré} = |(59,91544 + 5,49.10^{-4} - 59,91901).931,5|$

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

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

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

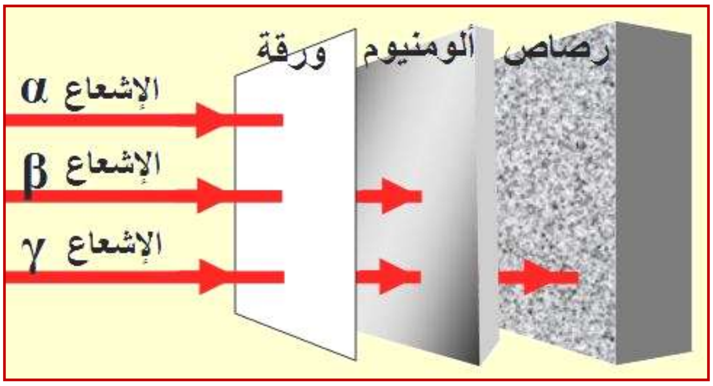
أي أن: $E' = E_{libéré}.\frac{m.N_A}{M} = 2,814.\frac{1 \times 6,02.10^{23}}{59,91901}$

إذن: $E' = 2,83.10^{22}MeV$

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-)

باعتبار التحول النووي التالي: ${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$

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

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

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

أي: $\Delta E = [E_l(X_1) + E_l(X_2)] - [E_l(X_3) + E_l(X_4)]$

نعوض كل $E_l(X_i)$ بتعبيرها: $\Delta E = (\Delta m_1.c^2 + \Delta m_2.c^2) - (\Delta m_3.c^2 + \Delta m_4.c^2)$

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:

$$\Delta E = [Z_1m_p+A_1m_n-Z_1m_n-m(X_1) + Z_2m_p+A_2m_n-Z_2m_n-m(X_2) - Z_3m_p-A_3m_n+Z_3m_n+m(X_3) - Z_4m_p-A_4m_n+Z_4m_n+m(X_4)].c^2$$

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 $-Z_1-Z_2+Z_3+Z_4=0$

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

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

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

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