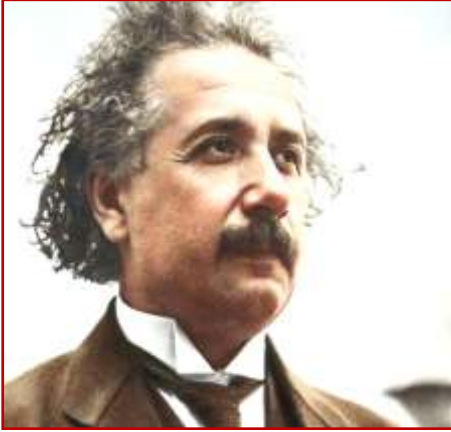


الأستاذ أيوب مرضي	مادة الفيزياء	5 صفحات
مستوى الثانية بكالوريا علوم تجريبية	الجزء الثاني: التحولات النووية	
شعبة: علوم الحياة و الأرض	مدة الإنجاز (درس+تمارين): 4 س + 1 س	
الدرس الخامس		النوى - الكتلة والطاقة
		Noyaux – masse et énergie

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 تعبرها 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

لهذه المجموعة بحيث: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

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 $^{12}_6\text{C}$ ، بحيث:

$$1u = \frac{m(^{12}_6\text{C})}{12} \quad \text{أي أن} \quad 1u = \frac{M(^{12}_6\text{C})}{12 \times N_A}$$

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

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

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:

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

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

ج. الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية:

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

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

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

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

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

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_ZX بالعلاقة التالية:

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

حيث m_p و m_n و A_ZX 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_ZX في حالة سكون لتفتيتها إلى نويات منفصلة و في سكون، وهي مقدار موجب، و يرمز لهذه الطاقة بالرمز E_l ، وتعبيرها:

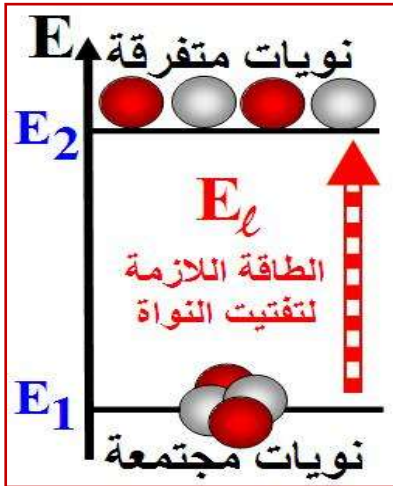
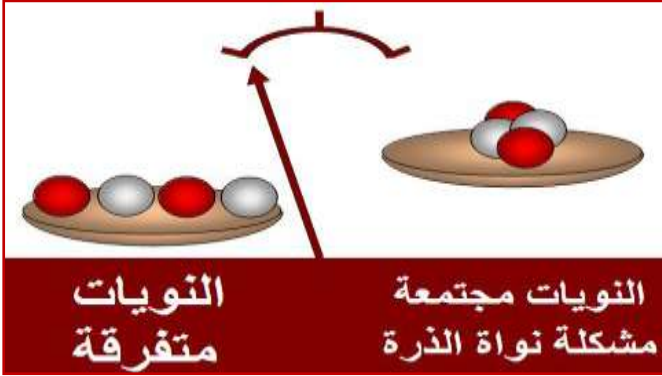
$$E_l = \Delta m \cdot c^2 = [Z \times m_p + N \times m_n] - m({}^A_ZX) \cdot c^2$$

3. طاقة الربط لنوية:

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

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

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

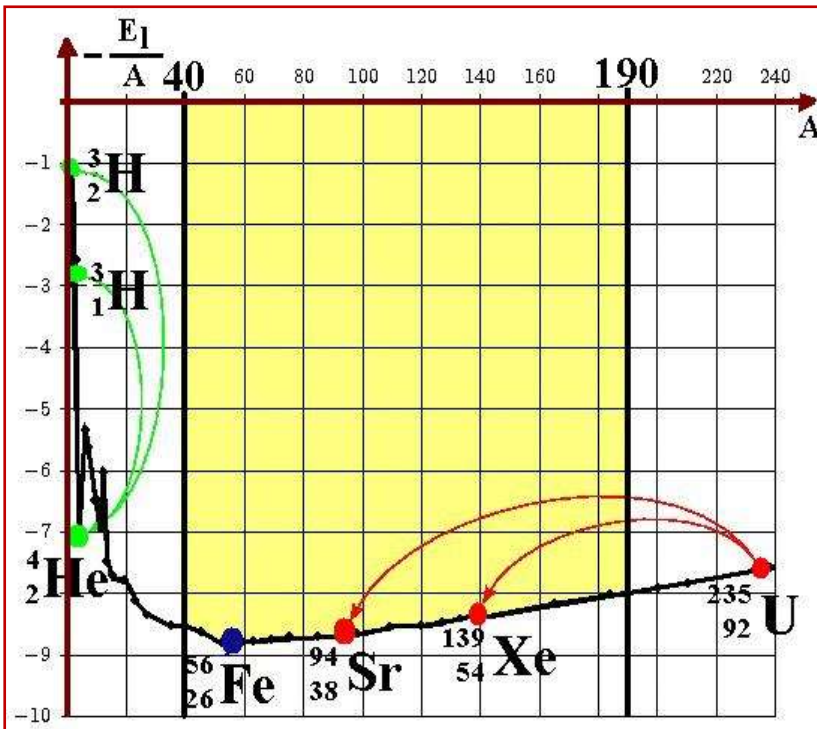


4. منحني أسطون:

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

و يقسم منحني أسطون كما يلي:

- ♦ **المجال $40 \leq A \leq 190$:** تضم هذه المنطقة النويدات المستقرة التي لها طاقة ربط متوسطة بالنسبة لنوية تقريبا تساوي 8MeV/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 89

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

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

ومنه: $\Delta m = 0,82775\text{u}$

بالنسبة للروبيديوم 85

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

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

ومنه: $\Delta m = 0,7936\text{u}$

- (2) حساب طاقة الربط لنظيري الروبيديوم:

بالنسبة للروبيديوم 89

لدينا: $E_b = \Delta m \cdot c^2$

أي: $E_b = 0,82775 \cdot 931,5$

و منه: $E_b = 771,05\text{MeV}$

بالنسبة للروبيديوم 85

لدينا: $E_b = \Delta m \cdot c^2$

أي: $E_b = 0,7936 \cdot 931,5$

و منه: $E_b = 739,24\text{MeV}$

(3) حساب طاقة الربط بالنسبة لنوية نظيري الروبيديوم.

بالنسبة للروبيديوم 89

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

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

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

بالنسبة للروبيديوم 85

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

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

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

(4) بمقارنة طاقتي الربط لنوية بالنسبة لكل نظير بآخر نجد أن : $\mathcal{E}(^{85}_{37}\text{Rb}) > \mathcal{E}(^{89}_{37}\text{Rb})$ ومنه فإن

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: $^{A_1}_{Z_1}\text{X}_1 + ^{A_2}_{Z_2}\text{X}_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}\text{X}_3 + ^{A_4}_{Z_4}\text{X}_4$ ، حيث يمثل الرمز $^{A_i}_{Z_i}\text{X}_i$ 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:

$$\Delta E = [E_l(\text{X}_1) + E_l(\text{X}_2)] - [E_l(\text{X}_3) + E_l(\text{X}_4)]$$

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

♦ باستعمال **الحصيلة الكتلية**: نعوض طاقة الكتلة $E_l(\text{X}_i)$ بتعبيرها و نستعمل قانوني صودي للانحفاظ فنوصل إلى تعبیر الحصيلة الطاقية بدلالة الحصيلة الكتلية. (البرهنة في آخر صفحة)

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

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

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

● 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

- (1) نويدة الكوبالت 60 ($^{60}_{27}\text{Co}$) إشعاعية النشاط β^- . 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:

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

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

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

الأجوبة

(1) معادلة التفتت و ذلك باستعمال قانون صودي نجد: $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + ^0_1e$ يفسر هذا التحول بتحول

نوترون إلى بروتون حسب المعادلة التالية: $^1_0n \rightarrow ^1_1p + ^0_1e$

(2) حساب طاقة الربط لنوية الكوبالت 60:

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

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

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

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

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

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

$$E_{\text{libéré}} = \left| (59,91544 + 5,49.10^{-4} - 59,91901) \cdot 931,5 \right| \text{ أي:}$$

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

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

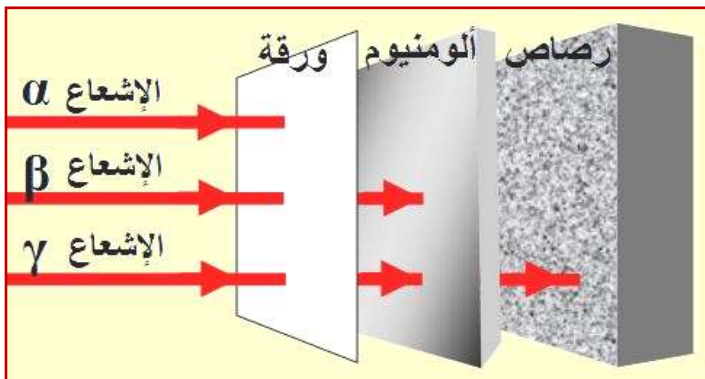
لنحدد N عدد النويدات الموجودة في غرام واحد من الكوبالت 60:

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

$$E' = 2,83.10^{22}\text{MeV} \text{ إذن:}$$

IV. استعمالات و أخطار النشاط الإشعاعي.

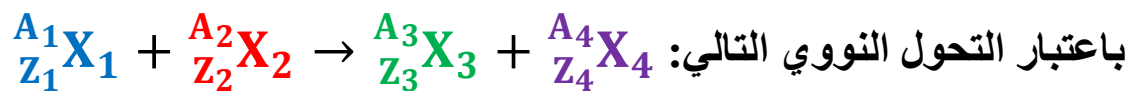
للإشعاعات النووية تأثير على جسم الإنسان و ذلك حسب الكمية التي يمتصها الجسم و بطبيعة الأشعة، بحيث:



- ♦ 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 الطاقةية لتحول نووي-)



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

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

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

$$\Delta E = [E_i(X_1) + E_i(X_2)] - [E_i(X_3) + E_i(X_4)] \text{ أي:}$$

$$\Delta E = (\Delta m_1 \cdot c^2 + \Delta m_2 \cdot c^2) - (\Delta m_3 \cdot c^2 + \Delta m_4 \cdot c^2) \text{ بتعبيرها: } E_i(X_i)$$

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

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

بعد النشر نجد:

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

باستعمال التعميل نجد:

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

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

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

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

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

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