التحولات النووية (03) : الإنشطار والإندماج

التمرين 1 :

أحد أنماط انشطار اليورانيوم 235 هو : $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{139}_{Z}I + ^{94}_{39}Y + x\,^{1}_{0}n$

1- عرف تفاعل الإنشطار .

2- جد قيمتي x و Z في معادلة تفاعل الانشطار .

3- عرف طاقة الربط ثم أحسب طاقة الربط لنواة اليورانيوم 235 .

4- رتب الأنوية التالية : $^{235}_{92}U$ ، $^{139}_{Z}I$ ، $^{94}_{39}Y$ حسب استقرارها .

5- أحسب الطاقة المحررة بـ MeV في هذا التفاعل .

6- كيف يؤدي هذا التفاعل إلى تفاعل تسلسلي ؟

7- على أي شكل تظهر الطاقة المحررة ؟

8- أحسب الطاقة الناتجة عن انشطار $1\ Kg$ من اليورانيوم 235 .

9- أحسب كتلة البترول الناتجة لنفس الكمية من الطاقة علما أن $1\ Kg$ من البترول ينتج $42\ MJ$ من الطاقة .

$m(^{1}_{0}n) = 1.00866\,u\,; m(^{1}_{1}p) = 1.00728\,u\,;\ m(^{94}Y) = 93.89014\,u\,; m(^{139}I) = 138.89700\,u\,;$

$m(U) = 234.9935\,u\,;\ \ 1u = 931.5\ MeV/C^2\ ; 1\ MeV = 1.6 \times 10^{-13}\ J\,;\ N_A = 6.02 \times 10^{23} mol^{-1}$

التمرين 2 :

الرادون $^{222}_{86}Rn$ هو غاز خامل عديم اللون والرائحة ، كما أنه مشع للجسيمات α فينتج عنه نواة البولونيوم $^{A}_{Z}Po$.

للرادون زمن نصف عمر يقدر بـ $3.825\ jour$.

1- أ- أكتب معادلة تفكك الرادون .

ب- يحتوي مصباح على $2\ cm^3$ من الرادون على شكل غاز في لحظة نعتبرها $t = 0$ أوجد عدد الأنوية المشعة N_0 ثم أحسب نشاطه الإبتدائي A_0 علما أن $V_M = 25\ L/mol$.

2- تنتج الأشعة α أيضا في الشمس والتي تعتبر مركزا لتفاعلات الإندماج ، أحد هذه التفاعلات يتم وفق المعادلة التالية :

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

أ- عرف الإندماج .

ب- ماذا تسمى النواتين $^{3}_{2}He$ و $^{4}_{2}He$ ؟ أحسب طاقة الربط $\frac{E_l}{A}$ لكليهما . أي النواتين أكثر استقرارا ؟

ت- أحسب الطاقة المحررة عن هذا التفاعل بـ MeV ثم الجول .

جـ - إستنتج الطاقة المحررة عند اندماج $1\ g$ من $^{3}_{2}He$.

$m(^{1}_{1}H) = 1.0073\,u\,; m(^{1}_{0}n) = 1.0087\,u\,; m(^{4}_{2}He) = 4.0015\,u\,; m(^{3}_{2}He) = 3.0072\,u$

$N_A = 6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}\,;\quad 1u = 931.5\ MeV/C^2\,;\ 1\ MeV = 1.6 \times 10^{-13}\ J$

$m(^{1}_{0}n) = 1.0087\,u\quad ;\quad m(^{1}_{1}p) = 1.0073\,u$

التمرين 3 :

I) اليورانيوم عنصر كيميائي نشيط إشعاعيا يقدر زمن نصف عمره بـ $4.47 \times 10^9\ ans$ ، يستعمل غالبا في تقدير عمر الصخور ، يخضع لسلسلة من التحولات التلقائية ، نلخصها في المعادلة التالية : $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + xa + y\beta^-$

من الدول التي تمتلك احتياط كبير منه والأكثر استغلالا له : كازاخستان ، كندا ، روسيا ، تكون هذه المادة قابلة للإستغلال صناعيا إذا تجاوزت نسبة اليورانيوم 238 في الصخور $0.01\ \%$.

1- أخذت عينة صخرية من منجم لاستخراج اليورانيوم كتلتها $47\ Kg$. تم قياس نشاطها الاشعاعي فوجد $A = 23.5 \times 10^5\ Bq$ (نعتبر كل النشاط الإشعاعي عائد لـ $^{238}_{92}U$)

أ. عرف ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي .

ب. حدّد أنماط التفكك الموضحة في المعادلة السابقة محددا طبيعة الجسيمات الصادرة .

ت. باستعمال قوانين الانحفاظ لصودي حدد قيم كل من x و y.

ث. أحسب عدد أنوية اليورانيوم 238 الموجودة في العينة الصخرية .

ج. أحسب نسبة اليورانيوم 238 في العينة الصخرية ، هل هذا المنجم قابل للإستغلال صناعيا ؟ علّل ؟

II) النظير $^{235}_{92}U$ يمكن استخلاصه عن طريق عملية الطرد المركزي ويستخدم كوقود ذري في محركات الغواصات النووية لإنتاج طاقة هائلة ناتجة عن تفاعل الإنشطار يمكن نمذجته بالمعادلة التالية :

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

1. أحسب الطاقة المحررة عن انشطار نواة اليورانيوم 235 .
2. يعطى محرك الغواصة استطاعة دفع محولة قدرها $P = 25\ MW$ حيث يستهلك كتلة صافية m من اليورانيوم المخصب 235 خلال 30 يوما من الإبحار (ماذا نقصد باليورانيوم المخصب)
3. ماهي الطاقة المحررة من إنشطار الكتلة m السابقة التي تستهلكها الغواصة خلال هذه المدة ، علما أن مردود هذا التحول يقدر بـ $r = 85\%$
4. أحسب مقدار الكتلة m .

$$m(^{1}_{0}n) = 1.00866\ u\ ;\ m(^{140}_{54}Xe) = 139.92164\ u\ ;\ m(^{94}_{38}Sr) = 93.8945\ u\ ;\ m(^{235}_{92}U) = 234.9935\ u$$

$$M(^{235}_{92}U) = 235.04\ g/mol\ ;\ M(^{238}_{92}U) = 238.05\ g/mol\ ;\ N_A = 6.02 \times 10^{23} mol^{-1}$$

$$1\ ans = 365\ jours\ \ ;\ \ 1\ MeV = 1.6 \times 10^{-13}\ J$$

التمرين 4 :

في مفاعل نووي تقذف أنوية اليورانيوم $^{235}_{92}U$ بواسطة نترون بطيء ، فيحدث تفاعل الإنشطار التالي :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{139}_{54}Xe + 3\,^{1}_{0}n$$

1- أحسب بالميغا الكترون فولط (MeV) الطاقة المحررة E_{lib} من تفاعل الانشطار السابق ، ثم أحسب الطاقة المحررة لكل نكليون $E_{lib/nucl1}$.

2- لكي نتحصل على نترون بطيء لاستعماله في قذف اليورانيوم $^{235}_{92}U$ ، نستعمل مزيجا من الأميركيوم $^{243}_{95}Am$ و البريليوم $^{9}_{4}Be$ ، حيث يشع الأمريكيوم حسب نمط اشعاعي واحد معطيا $^{239}_{93}Nd$ ثم يستعمل الجسيم الناتج لقذف أنوية البريليوم والحصول على نترون ونواة $^{A}_{Z}X$.

أ- أكتب المعادلتين الموافقتين وبيّن أن $^{A}_{Z}X$ هو $^{12}_{6}C$.

ب- نستعمل هذا المنبع فقط من أجل اقلاع التفاعل ، لماذا ؟

3- نعتبر التفاعل المنمذج بالمعادلة التالية :

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

الطاقة المحررة لكل نيكليون (نوية) من هذا التفاعل النووي هي $E_{lib/nucl2} = 3.53\ MeV/nucl$.

أ- حدد نوع هذا التفاعل النووي .

ب- أحسب النسبة $\frac{E_{lib/nucl2}}{E_{lib/nucl1}}$ ، استنتج أي التفاعلين : الإنشطار (1) أم التفاعل (2) أفضل من حيث المنتوج الطاقوي

$$m(^{94}_{38}Sr) = 93.8945\ u\ ; m(^{139}_{54}Xe) = 138.8892\ u\ ;\ m(^{235}_{92}U) = 234.9934\ u$$

$$m(^{1}_{0}n) = 1.00866\ u\ \ ;\ \ 1\ u = 931.5\ Mev\ /\ C^2$$

التمرين 5 :

في المفاعلات النووية التي تستعمل تقنية النترونات الحرارية البطيئة يتم الاعتماد على اليورانيوم المخصب ، يحتوي اليورانيوم المخصب على نسبة 3 % من $^{235}_{92}U$ وحوالي 97 % من اليورانيوم $^{238}_{92}U$.

تنشطر نواة اليورانيوم 235 عند قذفها بنيترون حراري ، حيث هناك عدة تفاعلات محتملة . ومنها الإنشطار الذي معادلته :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{138}_{52}Te + ^{95}_{40}Zr + 3^{1}_{0}n + 175.7\ MeV \ldots\ldots(1)$$

1. أ- ما المقصود بتخصيب اليورانيوم الطبيعي ؟

ب- يمكن التخفيض من سرعة النترونات الصادرة وإعادة استعمالها في شطر أنوية اليورانيوم . بماذا تخفض سرعة النترون ؟ ولماذا ؟ علل اجابتك ؟

جـ - عند عدم التحكم في النترونات الصادرة يمكن أن تثار ظاهرة الإنشطار التسلسلي . إشرح برسم تخطيطي هذه العملية .

2. البلوتونيوم $(^{241}_{Z}Pu)$ غير موجود في الطبيعة ، ويتم تحضيره بقذف اليورانيوم 238 بواسطة نيترونات حسب المعادلة التالية :

$$^{238}_{92}U + x^{1}_{0}n \rightarrow ^{241}_{Z}Pu \ldots\ldots\ldots(2)$$

نواة البلوتونيوم قابلة للإنشطار ، حيث يتم قذفها بنيترون حراري حسب المعادلة التالية :

$$^{241}_{Z}Pu + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{98}_{39}Y + ^{141}_{55}Cs + 3^{1}_{0}n \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

أ. حدد قيمتي كل من x و Z في المعادلة (2) . مع ذكر القوانين المستعملة في الحساب .

ب. على أي شكل تظهر هذه الطاقة المحررة ؟

ت. عرف الكتلة الذرية u ، ثم بين أن : $1\,u = 1.66 \times 10^{-27}\,Kg$

ث. أحسب النقص الكتلي للتفاعل المنمذج بالمعادلة (3)

ج. استنتج الطاقة المحررة عن إنشطار نواة واحدة من البلوتنيوم $^{241}_{Z}Pu$ ثم أحسب الطاقة المحررة عن انشطار $2\,g$ من $^{241}_{Z}Pu$.

ح. أحسب كتلة البترول التي تحرق وتحرر نفس الطاقة التي حررتها $2\,g$ من $^{241}_{Z}Pu$.

3. تتزود غواصة بالطاقة الناتجة عن الإنشطار (1) السابق حيث أن جزء من هذه الطاقة يضيع داخل المفاعل النووي للغواصة ولا يتم تحويله إلى كهرباء حيث ينتج هذا التفاعل استطاعة $P = 25\,MW$. يستهلك المفاعل النووي كتلة قدرها $m = 3\,Kg$ من اليورانيوم 235 خلال 30 يوما .

- أحسب مردود هذا المفاعل النووي r .

$m(^{241}_{Z}Pu) = 241.005288\,u\ ; m(^{141}_{55}Cs) = 140.88987\,u\ ; m(^{98}_{39}Y) = 97.900817\,u\ ; m(^{1}_{0}n) = 1.00866\,u$

$N_A = 6.02 \times 10^{23}\,mol^{-1}\ ;\ 1\,Mev = 1.6\ \times\ 10^{-13}J$

القدرة الحرارية للبترول تقدر بـ $42\,MJ.Kg^{-1}$

التمرين 6 :

في إطار تحضير الجزائر لفترة ما بعد البترول ، تسعى الجزائر لتطوير برنامجها النووي خاصة أن الخبراء يتوقعون أن الجزائر تنام على مخزون هائل من اليورانيوم وخاصة في الجنوب الجزائري حسبما أكدته عمليات التنقيب .

من بين التحولات النووية لنظير اليورانيوم 235 نذكر التحول المنمذج بمعادلة التفاعل التالية :

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{90}_{a}Kr + ^{142}_{b}Ba + c\ ^{1}_{0}n$$

1- أذكر نوع هذا التحول النووي وعرّفه .

2- حدد كلا من a, b و c .

3- أحسب الطاقة المحررة من هذا التفاعل النووي .

4- للمفاعل النووي (السلام) الواقع بين وسارة ولاية الجلفة استطاعة كهربائية قدرها $P = 15\,MW$ ناتجة عن التحول النووي السابق .

أ- أحسب الطاقة المحررة الناتجة عن $m = 10\,Kg$ من اليورانيوم 235 .

ب- أحسب بالأيام المدة اللازمة لاستهلاك الكتلة m من اليورانيوم 235 في المفاعل النووي .

5- تعتبر تحولات الإندماج النووي أحسن من التحول السابق . أحد هذه التفاعلات يتم وفق المعادلة التالية :

$$^{3}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

أ- ما المقصود بتفاعل الإندماج النووي

ب- بالنسبة لنواتي $^{4}_{2}He$ و $^{3}_{1}H$. بين أي النواتين أكثر استقرارا .

ت- أحسب الطاقة المحررة من هذا التفاعل بـ MeV ثم بالجول .

ث- استنتج الطاقة المحررة من اندماج مزيج متساوي الأنوية كتلته $2.5\,g$ من الديتريوم $^{2}_{1}H$ و التريتيوم $^{3}_{1}H$.

ج- اشرح لماذا تحول الإندماج أحسن من التحول السابق .

$m(^{235}_{92}U) = 235.0439\,u\ ; m(^{90}Kr) = 89.9197\,u\ ; m(^{142}Ba) = 141.9164\,u$

$q(^{90}Kr) = 5.76 \times 10^{-18}\,C\ ; q(^{1}_{1}p) = 1.6 \times 10^{-19}\,C\ ; m(^{1}_{1}p) = 1.0073\,u\ ; m\,(^{1}_{0}n) = 1.0087\,u$

$m(^{2}_{1}H) = 2.0135\,u\ ; m(^{3}_{1}H) = 3.01550\,u\ ; m(^{4}_{2}He) = 4.0015\,u\ ;\ N_A = 6.02 \times 10^{23}\,mol^{-1}$

حل التمرين 01 :

1- تعريف تفاعل الإنشطار :هو تحول نووي مفتعل يتم فيه قذف نواة ثقيلة بنيترون بطيء لينتج نواتين أخف نسبيا وأكثر استقرارا مع تحرير طاقة و نيترونات .

2- ايجاد قيمتي x و Z في التفاعل :

بتطبيق قانوني الانحفاظ لصودي لدينا :

$$\begin{cases} 235+1=139+94+x \\ 92=Z+39 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x=3 \\ Z=53 \end{cases}$$

3- تعريف طاقة الربط : هي الطاقة الواجب توفيرها لنواة لتفكيكها إلى بروتونات ونيترونات حرة وساكنة .

حساب طاقة الربط لنواة اليورانيوم 235 :

$$E_l\left(^{235}_{92}U\right) = [Zm_p + (A-Z)m_n - m\left(^{235}_{92}U\right)] \times C^2$$

$$= [92 \times 1.00728 + (235-92) \times 1.00866 - 234.9935] \times 931.5$$

$$E_l\left(^{235}_{92}U\right) = 1783.5\ MeV$$

4- ترتيب الأنوية حسب استقرارها :

لترتيب الأنوية حسب استقرارها يجب حساب طاقة الربط لكل نوية $\left(E_l/_A\right)$ ومن تمتلك $E_l/_A$ أكبر هي الأكثر استقرار .

$$E_l(^{94}_{39}Y) = \left[Zm_p + (A-Z)m_n - m(^{94}_{39}Y)\right] \times C^2$$

$$= [39 \times 1.00728 + (94-39) \times 1.00866 - 93.89014] \times 931.5$$

$$E_l(^{94}_{39}Y) = 810.5\ MeV$$

$$E_l\left(^{139}_{53}I\right) = \left[Zm_p + (A-Z)m_n - m\left(^{139}_{53}I\right)\right] \times C^2$$

$$= [53 \times 1.00728 + (139-53) \times 1.00866 - 138.89700] \times 931.5$$

$$E_l\left(^{139}_{53}I\right) = 1149.1\ MeV$$

$$E_l/_A\left(^{235}_{92}U\right) = \frac{1783.5}{235} = 7.59\ MeV/nucl$$

$$E_l/_A\left(^{94}_{39}Y\right) = \frac{810.5}{94} = 8.62\ MeV/nucl$$

$$E_l/_A\left(^{139}_{53}I\right) = \frac{1149.1}{139} = 8.27\ MeV/nucl$$

نلاحظ أن : $E_l/_A\left(^{94}_{39}Y\right) > E_l/_A\left(^{139}_{53}I\right) > E_l/_A\left(^{235}_{92}U\right)$

ومنه فإن : نواة $\left(^{94}_{39}Y\right)$ أكثر استقرارا من نواة $\left(^{139}_{53}I\right)$ والتي بدورها أكثر استقرارا من $\left(^{235}_{92}U\right)$

5- حساب الطاقة المحررة من هذا التفاعل بـ MeV :

$$E_{lib} = \left(m_{\text{متفاعلات}} - m_{\text{نواتج}}\right) \times C^2$$

$m_{\text{متفاعلات}}$: تمثل مجموع كتلة المتفاعلات أي $m\left(^{235}_{92}U\right) + m(^{1}_{0}n)$

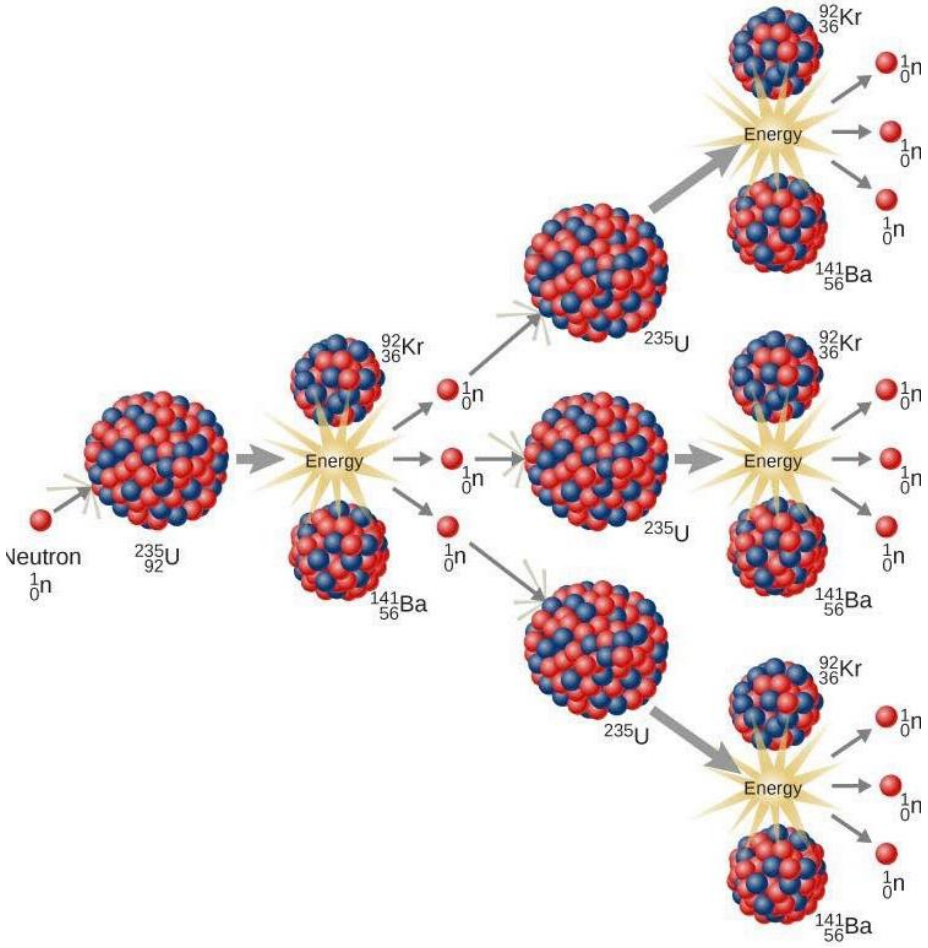
$m_{\text{نواتج}}$: تمثل مجموع كتلة النواتج أي $m(^{94}_{39}Y) + m\left(^{139}_{53}I\right) + 3m(^{1}_{0}n)$

$$E_{lib} = \left[m\left(^{235}_{92}U\right) + m(^{1}_{0}n) - \left(m(^{94}_{39}Y) + m\left(^{139}_{53}I\right) + 3m(^{1}_{0}n)\right)\right] \times C^2$$

$$E_{lib} = [(234.9935 + 1.00866) - (93.89014 + 138.89700 + 3 \times 1.00866)] \times 931.5$$

$$E_{lib} = 176.09\ MeV$$

6- النترونات المتحررة من تفاعل الإنشطار بدورها تعيد قذف أنوية يورانيوم 235 أخرى موجودة في المفاعل النووي وهكذا ضمن سلسلة



6- تظهر الطاقة المحررة على شكل : حرارة .

7- حساب الطاقة الناتجة عن انشطار $1\ Kg$ من اليورانيوم 235 :

$$E_{lib\,T} = E_{lib} \times N$$

$$E_{lib\,T} = E_{lib} \times \frac{m}{M}.N_A$$

$$E_{lib\,T} = 176.09 \times \frac{1000}{235} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$E_{lib\,T} = 4.51 \times 10^{26}\ MeV$$

8- حساب كتلة البترول الناتجة لنفس الكمية من الطاقة :

نعلم أن : $1MeV = 1.6 \times 10^{-13}\ J$ ومنه : $E_{lib\,T} = 4.51 \times 10^{26} \times 1.6 \times 10^{-13}$

$$E_{lib\,T} = 7.216 \times 10^{13}\ J$$

$$\begin{cases} 1\ kg\ (Pétrole) \rightarrow 42 \times 10^{6}\ J \\ m(Kg) \rightarrow 7.216 \times 10^{13}\ J \end{cases}$$

$$m = \frac{7.216 \times 10^{13} \times 1}{42 \times 10^{6}}$$

$$m = 1.718 \times 10^{6}\ Kg = 1718\ Tonnes$$

حل التمرين 02 :

1- أ- معادلة تفكك الرادون : $^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{A}_{Z}Po + {}^{4}_{2}He$

بتطبيق قانوني الانحفاظ لصودي نجد : $\begin{cases} 222 = A + 4 \\ 86 = Z + 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = 218 \\ Z = 84 \end{cases}$

ب- ايجاد عدد الأنوية المشعة N_0 :

$$N_0 = \frac{V_g}{V_M} \times N_A = \frac{2 \times 10^{-6}}{25} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$N_0 = 4.816 \times 10^{16}\ noyaux$$

حساب النشاط الإشعاعي A_0 :

$$A_0 = \lambda N_0 = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \times N_0 = \frac{\ln 2}{3.825 \times 24 \times 3600} \times 4.816 \times 10^{16}$$

$$A_0 = 1.01 \times 10^{11}\ Bq$$

2-أ. تعريف الإندماج النووي :هو تفاعل نووي مفتعل يتم فيه التحام نواتين خفيفتين لينتج نواة أثقل نسبيا وأكثر استقرارا مع تحرير طاقة .

ب. تسمى النواتين $^{3}_{2}He$ و $^{4}_{2}He$: النظائر

حساب طاقة الربط لكل نوية $\frac{E_l}{A}$ لكليهما :

$$E_l\ (^{3}_{2}He) = \left[Zm_p + (A - Z)m_n - m(^{3}_{2}He)\right] \times C^2$$

$$= [2 \times 1.0073 + (3 - 2) \times 1.0087 - 3.0072] \times 931.5$$

$$E_l\ (^{3}_{2}He) = 14.99\ MeV$$

$$E_l\ (^{4}_{2}He) = \left[Zm_p + (A - Z)m_n - m(^{4}_{2}He)\right] \times C^2$$

$$= [2 \times 1.0073 + (4 - 2) \times 1.0087 - 4.0015] \times 931.5$$

$$E_l\ (^{4}_{2}He) = 28.41\ MeV$$

$$E_l/_A\,(^3_2He) = \frac{14.99}{3} = 4.99\ MeV/nucl$$

$$E_l/_A\,(^4_2He) = \frac{28.41}{4} = 7.10\ MeV/nucl$$

نلاحظ أن $E_l/_A\,(^4_2He) > E_l/_A\,(^3_2He)$ ومنه فإن النظير ^4_2He أكثر استقرارا من النظير ^3_2He .

ت. حساب الطاقة المحررة عن هذا التفاعل :

$$E_{lib} = (m_{\text{متفاعلات}} - m_{\text{نواتج}}) \times C^2$$

$$E_{lib} = \left[2m(^3_2He) - \left(m(^4_2He) + 2m(^1_1H)\right)\right] \times C^2$$

$$E_{lib} = [(2 \times 3.0072) - (4.0015 + 2(1.0073)] \times 931.5$$

$$E_{lib} = 1.58\ MeV$$

$$E_{lib} = 1.58 \times 1.6 \times 10^{-13} = 2.53 \times 10^{-13}\ J$$

ث. إستنتاج الطاقة المحررة عند اندماج $1\ g$ من ^3_2He :

$$E_{lib\,T} = E_{lib} \times \frac{N}{2} = E_{lib} \times \frac{m}{2M} \times N_A$$

$$E_{lib\,T} = 1.58 \times \frac{1}{2(3)} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$E_{lib\,T} = 1.58 \times 10^{23}\ MeV = 2.528 \times 10^{10}\ J$$

حل التمرين الثالث :

I) الجزء الأول : النشاط الإشعاعي

تعريف ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي :هي ظاهرة طبيعية تلقائية يحدث فيها تفكك لأنوية مشعة (غير مستقرة) للحصول على أنوية أكثر استقرارا مع اصدار اشعاعات α ، β^+ ، β^- .

1- أنماط التفكك الموضحة في المعادلة السابقة مع تحديد طبيعة الجسيمات الصادرة :

التفكك α : طبيعة الجسيم الصادر : نواة الهيليوم ^4_2He

التفكك β^- : طبيعة الجسيم الصادر : الإلكترون $^0_{-1}e$

تصبح المعادلة السابقة على النحو التالي :

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + x\,^4_2He + y\,^0_{-1}e$$

2- ايجاد قيم x و y :

بتطبيق قانوني الانحفاظ لصودي :

$$\begin{cases} 238 = 206 + 4x \\ 92 = 82 + 2x - y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \dfrac{238 - 206}{4} = 8 \\ y = 82 + 2(8) - 92 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 8 \\ y = 6 \end{cases}$$

فتصبح المعادلة السابقة على النحو التالي : $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + 8\,^4_2He + 6\,^0_{-1}e$

حساب عدد أنوية اليورانيوم 238 الموجودة في العينة الصخرية :

$$A(t) = \lambda N = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \times N \Longrightarrow N = \frac{A(t)}{\ln 2} \times t_{1/2}$$

$$N = \frac{23.5 \times 10^5}{\ln 2} \times 4.47 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 3600$$

$$N = 4.78 \times 10^{22}\ noyaux$$

حساب نسبة اليورانيوم 238 في العينة الصخرية :

كتلة العينة الصخرية ككل هي $47\ Kg$ ، وهاته الصخرة يوجد بها 4.78×10^{22} نواة لليورانيوم سنقوم الآن بحساب كتلة اليورانيوم الموجودة في الصخرة انطلاقا من عدد أنوية اليورانيوم الموجودة بها .

$$m = \frac{N}{N_A} \times M = \frac{4.78 \times 10^{22}}{6.02 \times 10^{23}} \times 238$$

$$m = 18.9\ g$$

ومنه نسبة اليورانيوم 238 في العينة الصخرية هو حاصل قسمة كتلة اليورانيوم الموجود في العينة الصخرية على كتلة العينة الصخرية أي :

$$\frac{18.9}{47 \times 1000} \times 100 = 0.04\% > 0.01\%$$

ملاحظة : ضربنا في 100 للحصول على نسبة مئوية .

نعم المنجم قابل للإستغلال صناعيا لأنه حسب نص التمرين يمكن استغلاله إذا كانت نسبة اليورانيوم 238 في العينة الصخرية تتجاوز 0.01 %

(ونحن وجدنا 0.04 %) .

II) الجزء الثاني : الإنشطار النووي

1. حساب الطاقة المحررة عن انشطار نواة اليورانيوم 235 :

$$E_{lib} = \left(m_{\text{متفاعلات}} - m_{\text{نواتج}}\right) \times C^2$$

$$E_{lib} = \left[m\left({}^{235}_{92}U\right) + m\left({}^{1}_{0}n\right) - \left(m\left({}^{139}_{54}Xe\right) + m\left({}^{94}_{38}Sr\right) + 2m\left({}^{1}_{0}n\right)\right)\right] \times C^2$$

$$E_{lib} = [(234.9935 + 1.00866) - (139.92164 + 93.8945 + 2 \times 1.00866)] \times 931.5$$

$$E_{lib} = 157.14\ MeV$$

2. اليورانيوم المخصب : نوع من اليورانيوم تكون فيه نسبة اليورانيوم 235 عالية عن الحالة الطبيعية وذلك بفعل زيادتها عن طريق عملية فصل النظائر (الطرد المركزي) .

اليورانيوم الطبيعي الخام يحتوي على ما نسبته 99.2 % من النظير 238 وعلى 0.7 % من النظير 235 ومنه تخصيب اليورانيوم هو جعل نسبة النظير 235 أعلى من 0.7 % .

3. الطاقة المحررة من إنشطار الكتلة m :

نعلم أن : $E_{élé} = P \times \Delta t$ ونعلم أن : $r = \frac{E_{élé}}{E_{lib\,T}}$ ، باستعمال العلاقتين السابقتين نجد :

$$E_{lib\,T} = \frac{E_{élé}}{r} = \frac{P \times \Delta t}{r} = \frac{25 \times 10^6 \times 30 \times 24 \times 3600}{0.85}$$

$$E_{lib\,T} = 7.62 \times 10^{13}\ J$$

نعلم أن : $E_{lib\,T} = E_{lib} \times N$ ونعلم أن : $N = \frac{m}{M} \times N_A$

$$m = \frac{N}{N_A} \times M = \frac{E_{lib\,T}}{E_{lib} \times N_A} \times M = \frac{7.62 \times 10^{13}}{157.14 \times 1.6 \times 10^{-13} \times 6.02 \times 10^{23}} \times 235$$

$$m = 1183.09\ g = 1.18\ Kg$$

ملاحظات هامة :

إذا كانت الاستطاعة بـالواط (W) يجب أن تكون الطاقة الكهربائية $E_{élé}$ بالجول (J) ومدة الاستعمال Δt بالثانية (s)

إذا كانت الطاقة الكهربائية $E_{élé}$ بالجول (J) يجب أن تكون الطاقة الكلية الناتجة $E_{lib\,T}$ بوحدة الجول أيضا (J)

إذا كانت الطاقة الكلية الناتجة $E_{lib\,T}$ بوحدة الجول (J) يجب أن تكون الطاقة الناتجة عن انشطار نواة واحدة E_{lib} بالجول أيضا (J)

حل التمرين 04 :

1) حساب E_{lib} الطاقة المحررة من تفاعل الإنشطار :

$$E_{lib} = \left(m_{\text{متفاعلات}} - m_{\text{نواتج}}\right) \times C^2$$

$$E_{lib} = \left[m\left({}^{235}_{92}U\right) + m\left({}^{1}_{0}n\right) - \left(m\left({}^{94}_{38}Sr\right) + m\left({}^{139}_{54}Xe\right) + 3m\left({}^{1}_{0}n\right)\right)\right] \times C^2$$

$$E_{lib} = [(234.9934 + 1.00866) - (93.8945 + 138.8892 + 3(1.00866)] \times 931.5$$

$$E_{lib} = 179.2\ Mev$$

نعلم أن $1\ Mev = 1.6 \times 10^{-13}\ J$ ومنه

$$E_{lib} = 179.2 \times 1.6 \times 10^{-13} \Rightarrow E_{lib} = 2.8672 \times 10^{-11}\ J$$

عدد النيكليونات الحاضرة في التفاعل هي 236 نكليون وعليه الطاقة المحررة لكل نيكليون $E_{lib/nucl1}$ تساوي :

$$E_{lib/nucl1} = \frac{179.2}{236} \Rightarrow E_{lib/nucl1} = 0.76\ Mev/nucl$$

2.أ / كتابة المعادلتين الموافقتين وتبيين أن ${}^{A}_{Z}X$ هو ${}^{12}_{6}C$:

المعادلة الأولى : ${}^{243}_{95}Am \longrightarrow {}^{239}_{93}Nd + {}^{A'}_{Z'}X'$

حسب قانوني الانحفاظ لصودي :

$$\Sigma\, A_{\text{متفاعلات}} = \Sigma A_{\text{نواتج}} \qquad 243 = 239 + A' \Rightarrow A' = 243 - 239 \Rightarrow A' = 3$$

$$\Sigma\, Z_{\text{متفاعلات}} = \Sigma Z_{\text{نواتج}} \qquad 95 = 93 + Z' \Rightarrow Z' = 95 - 93 \Rightarrow Z' = 2$$

فإن الجسم ${}^{A'}_{Z'}X'$ عبارة عن نواة الهيليوم ${}^{4}_{2}He$ وبالتالي تصبح المعادلة على النحو التالي : ${}^{243}_{95}Am \longrightarrow {}^{239}_{93}Nd + {}^{4}_{2}He$

المعادلة الثانية : $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{A}_{Z}X + ^{1}_{0}n$

حسب قانوني الانحفاظ لصودي :

$\Sigma A_{\text{متفاعلات}} = \Sigma A_{\text{نواتج}}$ $\quad 9 + 4 = A + 1 \Rightarrow A = 13 - 1 \Rightarrow A = 12$

$\Sigma Z_{\text{متفاعلات}} = \Sigma Z_{\text{نواتج}}$ $\quad 4 + 2 = Z \Rightarrow Z = 6$

فإن النواة $^{A}_{Z}X$ هي فعلا نواة الكربون $^{12}_{6}C$ وبالتالي تصبح المعادلة على النحو التالي : $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$

2.ب / نستعمل هذا المنبع لإقلاع التفاعل فقط لأن تفاعل الانشطار تفاعل تسلسلي مغذى ذاتيا يكفي فقط نترون واحد لبدأ التفاعل (وهو النترون الناتج عن المنبع) ثم النيترونات المحررة تكمل بقية المهمة وتقذف أنوية اليورانيوم الموجودة في المفاعل النووي .

4 .أ / هذا التفاعل تفاعل إندماج نووي .

4.ب / حساب النسبة $\frac{E_{lib/nucl2}}{E_{lib/nucl1}}$: $\frac{E_{lib/nucl2}}{E_{lib/nucl1}} = \frac{3.53}{0.76} = 4.64$

تفاعل الإندماج يحرر طاقة أكبر من تفاعل الإنشطار بأكثر من 4 مرات .

حل التمرين 05 :

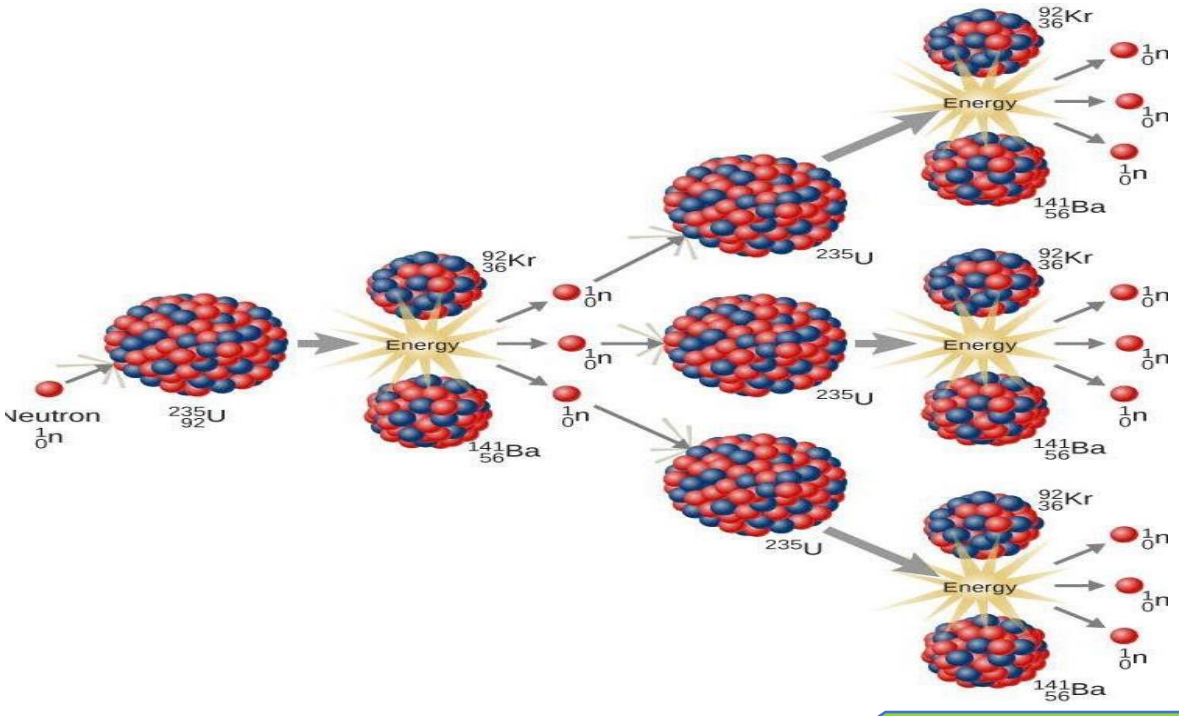
1- أ- المقصود بتخصيب اليورانيوم الطبيعي : هي تقنية تسمح باالرفع من نسبة النظير ^{235}U في عينة من اليورانيوم من 0.7 % إلى 3.5 % وذلك عن طريق عملية تدعى الطرد المركزي وذلك لاستخدامه في تفاعلات الإنشطار .

تعريف آخر : وهي تقنية تسمح بفصل نظائر اليورانيوم 234 و 238 عن اليورانيوم 235 بطريقة الطرد المركزي وزيادة نسبة تواجد اليورانيوم 235 حتى تصبح العينة نشيطة وقابلة للإنشطار .

ب – كيفية تخفيض سرعة النترون : ويكون ذلك بإضافة مواد تمتص النترونات (بحيث تنافس هاته المواد اليورانيوم الجاهز للإنشطار) ، أكثر مادة مستعملة لامتصاص النترونات هي الكادميوم بالإضافة إلى استعمال الماء الثقيل .

الغرض من تخفيض سرعة النترون هو التحكم في تفاعل الإنشطار لأن عدم التحكم في النترونات سيؤدي إلى مزيد من التفاعلات النووية وبالتالي إنتاج كمية كبيرة جدا من الطاقة (الحرارة) وبالتالي إمكانية حدوث ما يسمي بالإنفجار النووي .

جـ - رسم تخطيطي لظاهرة الإنشطار التسلسلي :



2.أ. تحديد قيمتي كل من x و Z : $^{238}_{92}U + x\,^{1}_{0}n \rightarrow {}^{241}_{Z}Pu$

باستعمال قوانين الإنحفاظ (إنحفاظ العدد الكتلي وإنحفاظ العدد الشحني) نجد : $\begin{cases} 238 + x = 241 \\ 92 + x(0) = Z \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 3 \\ Z = 92 \end{cases}$

ومنه تصبح معادلة تفاعل الإنشطار على النحو التالي : $^{238}_{92}U + 3\,^{1}_{0}n \rightarrow {}^{241}_{92}Pu$

ب .تظهر الطاقة المحررة على شكل : حرارة

ت. تعريف (u) وحدة الكتل الذرية : هي قيمة $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة واحدة للكربون $^{12}_{6}C$ مقدرة بالكيلوغرام .

تبيين أن : $1\,u = 1.66 \times 10^{-27}\ Kg$:

من خلال التعريف لدينا : $1\,u = \frac{1}{12} m(^{12}C)$

نعلم أن 1 مول من ذرات الكربون يساوي $12\ g$ أي $12 \times 10^{-3}\ Kg$ ويحتوي على ثابت أفوغادرو 6.023×10^{23} من ذرات الكربون وبالتالي :

$$6.023 \times 10^{23} \text{ ذرة} \rightarrow 12 \times 10^{-3}\ Kg$$

$$1 \text{ ذرة} \rightarrow m(^{12}C)$$

$$m(^{12}C) = \frac{1 \times 12 \times 10^{-3}}{6.023 \times 10^{23}} = 1.992 \times 10^{-26}\ Kg$$

$$1\,u = \frac{1}{12} \times 1.992 \times 10^{-26}$$

$$1\,u = 1.66 \times 10^{-27}\ Kg$$

ث. حساب النقص الكتلي للتفاعل المنمذج بالمعادلة (3) :

$$\Delta m = m_{\text{متفاعلات}} - m_{\text{نواتج}}$$

$$\Delta m = \left[m(^{235}_{92}U) + m(^{1}_{0}n) - \left(m(^{98}_{39}Y) + m(^{141}_{55}Cs) + 3m(^{1}_{0}n)\right)\right]$$

$$\Delta m = (241.005288 + 1.00866) - (97.900817 + 140.88987 + 3 \times 1.00866)$$

$$\Delta m = 0.197281\ u$$

ج. إستنتاج الطاقة المحررة عن إنشطار نواة واحدة من البلوتنيوم $^{241}_{92}Pu$:

$$E_{lib} = \Delta m \times C^{2} = 0.197281 \times 931.5$$

$$E_{lib} = 183.77\ MeV$$

حساب الطاقة المحررة عن انشطار $2\ g$ من $^{241}_{92}Pu$:

$$E_{lib\,T} = E_{lib} \times N = E_{lib} \times \frac{m}{M} \times N_A = 183.77 \times \frac{2}{241} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$E_{lib\,T} = 9.18 \times 10^{23}\ MeV$$

ح. حساب كتلة البترول التي تحرق وتحرر نفس الطاقة التي حررتها $2\ g$ من $^{241}_{92}Pu$:

نعلم أن : $1MeV = 1.6 \times 10^{-13}\ J$ ومنه : $E_{lib\,T} = 9.18 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-13}$

$$E_{lib\,T} = 1.47 \times 10^{11}\ J$$

$$\begin{cases} 1\ kg\ (Pétrole) \rightarrow 42 \times 10^{6}\ J \\ m(Kg) \rightarrow 1.47 \times 10^{11}\ J \end{cases}$$

$$m = \frac{1.47 \times 10^{11} \times 1}{42 \times 10^{6}}$$

$$m = 3500\ Kg = 3.5\ Tonnes$$

أي أنه لإنتاج طاقة قدرها $1.47 \times 10^{11}\ J$ نحتاج لانشطار $2\ g$ من $^{241}_{92}Pu$ بينما نحتاج إلى استعمال $3.5\ Tonnes$ من البترول

3. حساب مردود المفاعل النووي r :

الطاقة المحررة من انشطار نواة واحدة لليورانيوم 235 حسب المعادلة (1) هي : $175.7\ MeV$

نعلم أن : $r = \frac{E_{élé}}{E_{lib\ T}}$ ومن جهة أخرى لدينا : $E_{élé} = P \times t$ ولدينا أيضا : $E_{lib\ T} = N \times E_{lib}$ ومن جهة أخرى لدينا : $N = \frac{m}{M} \times N_A$

باستغلال القوانين الأربعة السابقة معا نجد :

$$r = \frac{E_{élé}}{E_{lib\ T}} = \frac{P \times t}{N \times E_{lib}} = \frac{P \times t}{m \times N_A \times E_{lib}} \times M = \frac{25 \times 10^{6} \times 30 \times 24 \times 3600}{3 \times 1000 \times 6.02 \times 10^{23} \times 175.7 \times 1.6 \times 10^{-13}} \times 241$$

$$r = 0.3 = 30\ \%$$

حل التمرين 06 :

1- نوع التحول : إنشطار نووي

تعريف : هو تفاعل نووي مفتعل يتم فيه قذف نواة ثقيلة بنيترون بطيء لينتج نواتين أخف نسبيا وأكثر استقرارا مع تحرير طاقة و نيترونات .

2- تحديد a, b و c : باستعمال قوانين الانحفاظ لصودي نجد :

انحفاظ العدد الكتلي A : $1 + 235 = 90 + 142 + c \Longrightarrow c = 4$

انحفاظ العدد الشحني Z : $92 = a + b$

ملاحظة هامة : شحنة البروتون × عدد البروتونات (Z) = شحنة النواة

من المعطيات لدينا : شحنة نواة $(^{90}_{a}Kr)$ هي : $5.76 \times 10^{-18}\ C$ و شحنة البروتون هي : $1.6 \times 10^{-19}\ C$ وبالتالي :

$$Z = \frac{5.76 \times 10^{-18}\ C}{1.6 \times 10^{-19}\ C} = 36$$

لاحظ جيدا أن Z يمثل العدد الشحني للنواة $^{90}_{a}Kr$ وهو يوافق قيمة a ومنه : $a = Z = 36$

مما سبق وجدنا : $92 = a + b$ وبالتالي : $b = 92 - a$ أي $b = 92 - 36$ وأخيرا : $b = 56$

3- حساب الطاقة المحررة للتفاعل E_{lib} :

$$E_{lib} = \left(m_{\text{متفاعلات}} - m_{\text{نواتج}}\right).C^2$$

$$E_{lib} = \left[m(^{1}_{0}n) + m(^{235}_{92}U) - \left(m(^{90}_{36}Kr) + m(^{142}_{56}Ba) + 4m(^{1}_{0}n)\right)\right] \times C^2$$

$$E_{lib} = [(1.0087 + 235.0439) - (89.9197 + 141.9164 + 4 \times 1.0087)] \times 931.5$$

$$E_{lib} = 169.25\ MeV$$

4- أ. حساب الطاقة المحررة الناتجة عن $m = 10\ Kg$ من اليورانيوم 235 :

$$E_{lib_T} = E_{lib} \times N = E_{lib} \times \frac{m}{M} \times N_A = \ E_{lib_T} = 169.25 \times \frac{10 \times 1000}{235} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$E_{lib_T} = 4.33 \times 10^{27}\ MeV$$

ب. حساب بالأيام المدة اللازمة لاستهلاك الكتلة m من اليورانيوم 235 في المفاعل النووي :

$$E_{éle} = P \times \Delta t \Longrightarrow \Delta t = \frac{E_{éle}}{P}$$

ملاحظة : بما أنه لم يذكر قيمة المردود في التمرين نأخذ المردود $r = 100\ \%$ أي أن كل الطاقة النووية تحولت إلى طاقة كهربائية أي :

$$E_{lib_T} = E_{éle}$$

$$\Delta t = \frac{E_{lib_T}}{P} = \frac{4.33 \times 10^{27}\ \times 1.6 \times 10^{-13}}{15 \times 10^6}$$

$$\Delta t = 4.62 \times 10^7\ s$$

$$\Delta t = \frac{4.62 \times 10^7\ s}{24 \times 3600} \Longrightarrow \Delta t = 534.72\ jours$$

5-أ. تعريف الإندماج النووي :هو تفاعل نووي مفتعل يتم فيه التحام نواتين خفيفتين لينتج نواة أثقل نسبيا وأكثر استقرارا مع تحرير طاقة .

ب. تسمى النواتين ^3_2He و ^4_2He : النظائر

حساب طاقة الربط لكل نوية $\frac{E_l}{A}$ لكليهما :

$$E_l\ (^3_1H) = \left[Zm_p + (A - Z)m_n - m(^3_1H)\right] \times C^2$$

$$= [1 \times 1.0073 + (3 - 1) \times 1.0087 - 3.01550] \times 931.5$$

$$E_l\ (^3_1H) = 8.57\ MeV$$

$$E_l\ (^4_2He) = \left[Zm_p + (A - Z)m_n - m(^4_2He)\right] \times C^2$$

$$= [2 \times 1.0073 + (4 - 2) \times 1.0087 - 4.0015] \times 931.5$$

$$E_l\ (^4_2He) = 28.41\ MeV$$

$$E_l/_A\ (^3_1H) = \frac{8.57}{3} = 2.86\ MeV/nucl$$

$$E_l/_A\ (^4_2He) = \frac{28.41}{4} = 7.10\ MeV/nucl$$

نلاحظ أن $E_l/_A\ (^4_2He) > E_l/_A\ (^2_1H)$ ومنه فإن ^4_2He أكثر استقرارا من ^3_1H .

ت. حساب الطاقة المحررة عن هذا التفاعل :

$$E_{lib} = (m_{\text{متفاعلات}} - m_{\text{نواتج}}) \times C^2$$

$$E_{lib} = \left[m(^2_1H) + m(^3_1H) - \left(m(^4_2He) + m(^1_0n)\right)\right] \times C^2$$

$$E_{lib} = [(2.0135 + 3.01550) - (4.0015 + 1.0087)] \times 931.5$$

$$E_{lib} = 17.51\ MeV$$

$$E_{lib} = 17.51 \times 1.6 \times 10^{-13} = 2.80 \times 10^{-12}\ J$$

ث. استنتاج الطاقة المحررة من اندماج مزيج متساوي الأنوية كتلته $2.5\ g$:

$$E_{lib\,T} = E_{lib} \times N$$

حساب N (عدد الأنوية الموجودة في كتلة $2.5\ g$) :

$$m = m(^2_1H) + m(^3_1H)$$

$$m = \frac{N(^2_1H)}{N_A}.M(^2_1H) + \frac{N(^3_1H)}{N_A}.M(^3_1H)$$

بما أن المزيج متساو الأنوية فإن : $N(^2_1H) = N(^3_1H) = N$

$$m = \frac{N}{N_A}.M(^2_1H) + \frac{N}{N_A}.M(^3_1H) = \frac{N}{N_A}\left(M(^2_1H) + M(^3_1H)\right)$$

$$N = \frac{m \times N_A}{M(^2_1H) + M(^3_1H)} = \frac{2.5 \times 6.02 \times 10^{23}}{2+3}$$

$$N = 3.01 \times 10^{23}\ noyaux$$

$$E_{lib\,T} = E_{lib} \times N = 17.51 \times 3.01 \times 10^{23}$$

$$E_{lib\,T} = 5.27 \times 10^{24}\ MeV$$

جـ . شرح لماذا تفاعل الإندماج أفضل من تفاعل الإنشطار :

للمقارنة بين التفاعلين يوجد طريقتين :

الطريقة 1 : نقارن بين الطاقة المحررة لكل نيكليون $(E_{lib/nucl})$ لكل تفاعل :

في تفاعل الإندماج : $E_{lib/nucl} = \frac{17.51}{5} = 3.50\ MeV/nuc$

في تفاعل الإنشطار : $E_{lib/nucl} = \frac{169.25}{236} = 0.72\ MeV/nucl$

نلاحظ أن طاقة المحررة لكل نيكليون في تفاعل الإندماج أكبر من الطاقة المحررة لكل نيكليون في تفاعل الأنشطار ومنه فتفاعل الإندماج أفضل من تفاعل الإنشطار من ناحية الطاقة .

$$\frac{E_{lib/nucl}(\text{الإندماج})}{E_{lib/nucl}(\text{الإنشطار})} = \frac{3.50}{0.72} = 4.87$$

هذا يعني أن تفاعل الإندماج يحرر طاقة أكبر من تفاعل الإنشطار بـأكثر من 4 مرات .

الطريقة 2 : نقارن الطاقة الناتجة من كلا التفاعلين لنفس الكتلة $E_{lib_T}(2.5g)$:

نقوم بحساب الطاقة الناتجة من تفاعل الإنشطار لكتلة قدرها $2.5\ g$:

$$E_{lib_T} = E_{lib} \times N = E_{lib} \times \frac{m}{M} \times N_A = 169.25 \times \frac{2.5}{235} \times 6.02 \times 10^{23}$$

الطاقة الناتجة من تفاعل الإنشطار لكتلة قدرها $2.5\ g$ هو : $E_{lib_T}(2.5g) = 1.08 \times 10^{24}\ MeV$

الطاقة الناتجة من تفاعل الإندماج لكتلة قدرها $2.5\ g$ هو : $E_{lib_T}(2.5g) = 5.27 \times 10^{24}\ MeV$

نلاحظ أن الطاقة المحررة من تفاعل الإندماج لكتلة قدرها $2.5\ g$ أكبر من الطاقة المحررة من تفاعل الإنشطار لنفس الكتلة وعليه تفاعل الإندماج أحسن من تفاعل الإنشطار .

$$\frac{E_{lib_T}(2.5g)\ \text{اندماج}}{E_{lib_T}(2.5g)\ \text{انشطار}} = \frac{5.27 \times 10^{24}}{1.08 \times 10^{24}} = 4.87$$

هذا يعني أن تفاعل الإندماج يحرر طاقة أكبر من تفاعل الإنشطار بـأكثر من 4 مرات .

دروس خصوصية بمدينة وادي الفضة ولاية الشلف

العنوان : الطريق الوطني رقم 04 مقابل الحماية المدنية (قرب محطة الحافلات)

رقم الهاتف : 06.73.72.54.98