الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية العلوم-قسم الفيزياء

مدة الامتحان: ساعتان
العلامة: 100
اسم الطالب:

حل أسئلة امتحان مقرر الفيزياء النووية (1)
الفصل الثاني من العام الدراسي 2024/2023

السؤال الأول: (30 درجة)

أولاً: (10 درجات)

الحل:

$$^{213}_{84}Po \rightarrow {}^{209}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He + Q$$

طاقة التفاعل Q تساوي:

$$Q = [M(^{213}_{84}Po) - M(^{209}_{82}Pb) - M(^{4}_{2}He)]c^2$$

$$Q = [212{,}993 - 208{,}981 - 4{,}003] = 0{,}009\ a.u.m$$

$$Q = 0{,}009\ a.u.m \times c^2 = 0{,}009\ a.u.m \times 931{,}5 = 8{,}384\ MeV$$

الطاقة الحركية لجسيم ألفا:

$$Q = T_\alpha \times \frac{M(^{209}_{82}Pb)}{M(^{213}_{84}Po)} = T_\alpha \times \frac{A(^{209}_{82}Pb)}{A(^{213}_{84}Po)} = 8.34\ MeV \times \frac{213}{209} = 8.499\ MeV$$

$$T_{Pb} = Q - T_\alpha = 8{,}384 - 8{,}34 = 0{,}054\ MeV$$

ثانياً: (10 درجات)

1. معادلة هذا التفكك

$$^{6}_{3}Li + {}^{2}_{1}d \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{4}_{2}He$$

تُعطى طاقة ارتباط النواة بالعلاقة:

$$E_b(^{A}_{Z}X) = \varepsilon(^{A}_{Z}X) \times (A)$$

$$E_b(\ ^{6}Li) = \varepsilon(5{,}33) \times (6) = 31{,}98\ MeV$$

$$E_b(\ ^{4}He) = \varepsilon(7{,}08) \times (4) = 28{,}32\ MeV$$

$$E_b(\ ^{2}d) = \varepsilon(1{,}11) \times (2) = 2{,}22\ MeV$$

2. ومنه فطاقة التفاعل تساوي:

$$\Delta E = E_b(\ ^{6}Li) + E_b(\ ^{2}d) - 2E_b(\ ^{4}He) = 31{,}98 + 2{,}22 - 2 \times (28{,}32) - 22{,}44\ MeV$$

ثالثاً: (10 درجات)

1. المقطع الماكروسكوبي لامتصاص النترونات الحرارية في الحديد:

$$\Sigma_a = \sigma_a \times N_{Fe}$$

$$N_{Fe} = \frac{\rho_{Fe} \times N_A}{M} = \frac{7{,}8 \times 6{,}02 \times 10^{23}}{56} = 8{,}39 \times 10^{22} \ \frac{\text{ذرة}}{cm^3}$$

$$\Sigma_a = 2{,}5 \times 10^{-24} cm^2 \times 8{,}39 \times 10^{22} \ \frac{\text{ذرة}}{cm^3} \approx 0{,}2 \ \frac{1}{cm}$$

2. مردود هذا التفاعل:

$$Y = \Sigma_a \times \varphi = 0{,}2 \ \frac{1}{cm} \times 2 \times 10^{14} \ \frac{\text{نترون}}{cm^2.s} = 0{,}4 \times 10^{14} \ \frac{\text{ذرة}}{cm^3.s}$$

السؤال الثاني: (20 درجة)

أولاً:

1. قيمة مسافة الاقتراب الأدنى r_{min} لجسيم ألفا ذو الطاقة الحركية $T_\alpha = 5\ MeV$ من النواة $^{209}_{82}Pb$:

$$r_{min} = k\frac{Z_\alpha \times Z_{Pb} \times e^2}{T_\alpha \times 1{,}6.10^{-6}(erg)} = \frac{2 \times 82 \times (4{,}8 \times 10^{-10})^2}{5 \times 1{,}6.10^{-6}(erg)} = 4{,}72 \times 10^{-12} cm = 47{,}2\ Fm$$

2. المقطع العرضي التفاضلي لتبعثر جسيم $\alpha -$ بالطاقة الحركية $T_\alpha = 5\ MeV$ بواسطة حقل كولوم للنواة $^{209}_{82}Pb$ عند زاوية تساوي 90^0:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = k^2 \frac{Z_\alpha^2 \times Z_{Pb}^2 \times e^4}{(4T_\alpha \times 1{,}6.10^{-6})^2} \frac{1}{sin^4(\theta/2)} = 1^2 \frac{2^2 \times 82^2 (4{,}8 \times 10^{-10})^4}{(4 \times 5 \times 1{,}6.10^{-6})^2} \frac{1}{sin^4(90/2)}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 2{,}66 \times 10^{-24} \frac{cm^2}{St} = 2{,}66 \frac{b}{St}$$

3. قيمة مسافة الاقتراب الأدنى r_{min} لجسيم ألفا بالطاقة الحركية $T_\alpha = 22\ MeV$ من النواة $^{209}_{82}Pb$:

$$r_{min} = k\frac{Z_\alpha \times Z_{Pb} \times e^2}{T_\alpha \times 1{,}6.10^{-6}(erg)} = \frac{2 \times 82 \times (4{,}8 \times 10^{-10})^2}{22 \times 1{,}6.10^{-6}(erg)} = 1{,}07 \times 10^{-12} cm = 10{,}7\ Fm$$

4. قيمة بارامتر الصدم b لجسيم ألفا بالطاقة الحركية $T_\alpha = 22\ MeV$ عند الزاوية 90^0 :

$$b_{90^0} = \frac{Z_\alpha \times Z_{Pb} \times e^2}{2tog(90^0/2)T_\alpha \times 1{,}6.10^{-6}} = \frac{2 \times 82 \times (4{,}8 \times 10^{-10})^2}{2tog(45^0) \times 22 \times 1{,}6.10^{-6}} = 5{,}4 \times 10^{-13} cm$$
$$= 5.4Fm$$

ثانياً: (5 درجات)

الحل:

$$Q_0 = \frac{4}{5}Z \times \bar{R}^2 \times \beta = \frac{4}{5} \times 71 \times 6{,}1\ fm^2 \times (+0{,}31) \approx +655\ fm^2 = +6{,}6\ barn$$

السؤال الثالث (30 درجة)

أولاً: (12 درجة)

الحل:

$$^{40}_{20}Ca \rightarrow {}^{39}_{20}Ca + n$$

$$E_b(A,Z) = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{Sym}\frac{(N-Z)^2}{A} \pm 34.A^{-3/4}$$

طاقة ارتباط النواة $^{40}_{20}Ca$:

$$E_b(40,20) = 15{,}78 \times 40 - 17{,}8(40)^{\frac{2}{3}} - 0{,}71\frac{20(20-1)}{(40)^{\frac{1}{3}}} - 23{,}7\frac{(20-20)^2}{40} + 34.(40)^{-\frac{3}{4}}$$

$$= 346{,}3\ MeV$$

طاقة ارتباط النواة $^{39}_{20}Ca$:

$$E_b(39,20) = 15{,}78 \times 39 - 17{,}8(39)^{\frac{2}{3}} - 0{,}71\frac{20(20-1)}{(39)^{\frac{1}{3}}} - 23{,}7\frac{(20-20)^2}{39} + 34.(39)^{-\frac{3}{4}}$$

$$= 331{,}1\ MeV$$

طاقة فصل النترون:

$$\varepsilon_n = E_b(40,20) - E_b(39,20) = 346{,}3 - 331{,}1 = 15{,}2\ MeV$$

ثانياً : (18 درجة)

كثافة النكلونات في النواة:

$$\rho_n = \frac{m}{V} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi(R_0 \times A^{1/3})^3} = \frac{3 \times A}{4\pi \times R_0^3 \times A} = \frac{1}{4\pi \times (1{,}2 \times 10^{-13}cm)^3}$$

$$= 1{,}38 \times 10^{38}\frac{\text{نكلون}}{cm^3}$$

الكثافة النووية:

$$\bar{m}_n = \frac{m_p + m_n}{2} = \frac{1{,}007276 + 1{,}008665}{2} = 1{,}007971\ a.u.m$$

$$\rho_m = \rho_n \times = \bar{m}_n = 1{,}38 \times 10^{38} \frac{\text{نكلون}}{cm^3} \times 1{,}007971\ a.u.m \times 1{,}66 \times 10^{-24}\ gr = 2{,}31 \times 10^{14} \frac{gr}{cm^3}$$

$\rho(0)$ هي الكثافة النووية وقيمتها ثابتة بالنسبة لجميع النوى وتساوي $2{,}31 \times 10^{14} \frac{gr}{cm^3}$

$\rho(r)$ هي الكثافة النووية القطرية وقيمتها وتُعطى بالعلاقة الرياضية $\rho(r) = \frac{\rho(0)}{1+e^{\frac{r-R}{a}}}$ ومن أجل R وتساوي $\frac{2{,}31\times10^{14}}{2} \frac{gr}{cm^3}$

دلالة R هي نصف قطر النواة ويعطى بالعلاقة $R = R_0 \times A^{1/3}$ ووفقه تتغير الكثافة النووية من $\rho(0)$ إلى $\frac{\rho(0)}{2}$

t هي سماكة الطبقة السطحية ووفها تنقص الكثافة النووية من $\rho(0)$ 0,9 إلى $\rho(0)$ 0,1 وقيمتها العددية $t \approx 2.4\ fm$.

السؤال الرابع (20 درجة)

أولاً: (10 درجات)

ارتفاع الحاجز الكولومي للنواة $^{144}_{60}Nd$:

$$V = k\frac{Z_{Ce} \times e^2}{R_0 \times A^{1/3}} = k\frac{58 \times (4{,}8 \times 10^{-10})^2}{1{,}3 \times 10^{-13} \times (140)^{1/3} \times 1{,}6 \times 10^{-6}} = 12{,}37\ MeV$$

سرعة جسيم ألفا:

$$T_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 \Rightarrow v_\alpha^2 = \frac{2T_\alpha}{m_\alpha} = \frac{2 \times 1{,}85 \times 1{,}6 \times 10^{-13} J}{4 \times 1{,}66 \times 10^{-27}\ kg}$$

ومنه:

$$v_\alpha = 0{,}943 \times 10^7 m/s$$

العمر النصفي لتفكك $^{144}_{60}Nd$ مقدراً بالثواني:

$$T_{1/2} = 2{,}3 \times 10^{15} \times 365 \times 24 \times 3600 = 7{,}25 \times 10^{22}\ s$$

نصف قطر النواة $^{144}_{60}Nd$:

$$R = R_0 \times 10^{-15} \times A^{1/3} = 1{,}3 \times 10^{-15} \times (144)^{1/3} = 6{,}81 \times 10^{-15}\ m$$

شفافية الحاجز الكولومي لهذا التفكك:

$$T_{1/2} = \frac{0.693 \times 2R}{vP}$$

$$P = \frac{0.693 \times 2R}{v \times T_{1/2}} = \frac{0.693 \times 2 \times 6{,}81 \times 10^{-15}\ m}{0{,}943 m/s \times 10^7 \times 7{,}25 \times 10^{22}\ s} = 1{,}38 \times 10^{-44}$$

ثانياً (10 درجات)

علل بشكل دقيق ومختصر ما يلي:

1. (بسبب انطلاق النترينو وجسيم بيتا، حيث أنهما يتحاصصان طاقة التفكك، طاقة التفكك (مقدار ثابت)= الطاقة الحركية لجسيم بيتا +طاقة النترينو).
2. (السبين لطبقة نكلونية= المجموع الشعاعي للسبين بالنسبة لجميع النكلونات الموجودة في هذه الطبقة، ترتبط النكلونات مع بعضها مثنى مثنى على شكل أزواج متعاكسة في السبين بواسطة القوة النووية، التي تربط بين كل نكلونين من نفس النوع ($N-N$ و $P-P$)، وبين نكلونين مختلفين في النوع ($N-P$)، وبالتالي في حالة النوى الزوجية–الزوجية تكون كل الروابط السابقة محققة بين النكلونات، ومجموع السبين لكل الطبقات يساوي الصفر).
3. (بناء على التعليل السابق يبقى نكلون واحد غير مزدوج في النوى الفردية – الزوجية (أو الزوجية الفردية) والسبين للنواة يكون نصفي ويساوي $\hbar/2$).
4. (ينطلق في التفكك ألفا فقط جسيم ألفا من النواة، وتتوزع طاقة التفكك بين جسيم ألفا والنواة الإبنة حسب قانون انحفاظ الطاقة والاندفاع، ينطلق جسيم ألفا باتجاه يعاكس اتجاه انطلاق النواة الإبنة $\vec{p}_{\alpha} = \vec{p}_{nu}$).
5. (في تفاعل الأسر الإشعاعي $-K$، يتحول البروتون إلى نترون في النواة على حساب أسر إلكترون من الطبقة الإلكترونية $-K$، وينطلق فقط النترينو من النواة حسب التفاعل: $p + e^{-} \rightarrow n + \nu_e$)