8 Kärnfysik

Atomkärnans stabilitet

8.1 Lätta kärnor är stabila om de har samma antal protoner som neutroner. Större kärnor kräver fler neutroner än protoner för att stark växelverkan ska motverka repulsionen p.g.a. Coulombkraften.

Svar: Falskt

8.2 En isotop anges enligt ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ där A är antalet nukleoner, Z antal protoner och X isotopens kemiska tecken. Isotopen har Z = 6 protoner och A – Z = 14 – 6 = 8 neutroner.

Svar: 6 protoner och 8 neutroner.

Bindningsenergi

8.3 En stor massdefekt, Δm, innebär en stor bindningsenergi, *E*, och en stabil kärna enligt

$$E = \Delta mc^2$$

Svar: Sant

8.4 De i kärnan ingående partiklarnas massa är

$$m_{\text{partiklar}} = (\mathrm{A} - \mathrm{Z})m_{\text{neutron}} + \mathrm{Z}m_{\text{proton}}$$

där A = 15 och Z = 7

vilket ger $m_{\text{partiklar}} = (15 - 7)1{,}008665 + 7 \cdot 1{,}007276 = 15{,}120252\ \text{u}$

Kärnans massa är

$$m_{\text{kärna}} = m_{\text{nuklid}} - \mathrm{Z}m_{\text{elektron}}$$

där $m_{\text{nuklid}} = 15{,}000109\ \text{u}$

vilket ger $m_{\text{kärna}} = 15{,}000109 - 7 \cdot 0{,}000549 = 14{,}996266$ u

Massdefekten fås som

$$\Delta m = m_{\text{partiklar}} - m_{\text{kärna}} = 15{,}120252 - 14{,}996266 \text{ u} =$$

$$= 0{,}123986 \text{ u}$$

Svar: 0,124

8.5 a) De i kärnan ingående partiklarnas massa är

$$m_{\text{partiklar}} = (\text{A} - \text{Z})m_{\text{neutron}} + \text{Z}m_{\text{proton}}$$

där A = 12 och Z = 6

vilket ger $m_{\text{partiklar}} = (12 - 6) \cdot 1{,}008665 + 6 \cdot 1{,}007276 = 12{,}095646$ u

Kärnans massa är

$$m_{\text{kärna}} = m_{\text{nuklid}} - \text{Z}m_{\text{elektron}}$$

där $m_{\text{nuklid}} = 12$ u

vilket ger $m_{\text{kärna}} = 12 - 6 \cdot 0{,}000549 = 11{,}996706$ u

Massdefekten fås som

$$\Delta m = m_{\text{partiklar}} - m_{\text{kärna}} = 12{,}095646 - 11{,}996706 \text{ u} =$$

$$= 0{,}09894 \text{ u}$$

b) Bindningsenergin ges av

$$E = \Delta mc^2 = 0{,}09894 \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot \left(3 \cdot 10^8\right)^2 \text{ J} =$$

$$= 1{,}4786 \cdot 10^{-11} \text{ J} = \frac{1{,}4786 \cdot 10^{-11}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{eV} = 92{,}3 \text{ MeV}$$

och bindningsenergin per nukleon fås som

$$\frac{E}{\text{A}} = \frac{92{,}3}{12} \text{MeV} = 7{,}69 \text{ MeV}$$

Svar: a) 0,099 u och b) 7,7 MeV

α

8.6 Den allmänna formeln för ett α-sönderfall ser ut som

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$$

d.v.s. kärnans masstal minskar med 2.

Svar: Falskt

8.7 α-strålning resulterar i två produkter, den ena är ${}^{4}_{2}He$

$${}^{214}_{84}Po \rightarrow Y + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$$

Dessutom bevaras det totala masstalet och laddningen vilket ger

$${}^{214}_{84}Po \rightarrow {}^{214-4}_{84-2}Y + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$$

vilket ger ${}^{214}_{84}Po \rightarrow {}^{210}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$

Svar: ${}^{214}_{84}Po \rightarrow {}^{210}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$

8.8 α-strålning resulterar i två produkter, den ena är ${}^{4}_{2}He$

$${}^{226}_{88}Ra \rightarrow Y + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$$

Dessutom bevaras det totala masstalet och laddningen vilket ger

$${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{226-4}_{88-2}Y + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$$

vilket ger ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$

Svar: ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He + \text{energi}$

8.9 Den frigjorda energin fås som

$$E = \left(m_{\text{Ra}} - m_{\text{Rn}} - m_{\text{He}}\right) \cdot c^2 =$$

$$= (226{,}025403 - 222{,}017570 - 4{,}002603) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot \left(3 \cdot 10^8\right)^2 \text{ J} =$$

$$= 7{,}8162 \cdot 10^{-13} \text{ J} = \frac{7{,}8162 \cdot 10^{-13}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 4{,}879 \text{ MeV}$$

Svar: 4,9 MeV

β

8.10 a) Den allmänna formeln för ett β^--sönderfall ser ut som

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$$

d.v.s. kärnans masstal A är oförändrat.

b) Den allmänna formeln för ett β^+-sönderfall ser ut som

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$$

d.v.s. kärnans masstal A är oförändrat.

Svar: a) falskt och b) falskt

8.11 a) β^--strålning resulterar i tre produkter, en är ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

$$^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow \mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$$

Dessutom bevaras det totala masstalet och laddningen vilket ger

$$^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$$

vilket ger $^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$

b) Den frigjorda energin fås som

$$E = (m_\mathrm{C} - m_\mathrm{N}) \cdot \mathrm{c}^2 =$$

$$= (14{,}003242 - 14{,}003074) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ J} =$$

$$= 2{,}5107 \cdot 10^{-14} \text{ J} = \frac{2{,}5107 \cdot 10^{-14}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 0{,}1567 \text{ MeV}$$

Svar: a) $^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$ och b) 0,16 MeV

8.12 a) β^--strålning resulterar i tre produkter, en är ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

$$^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow \mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$$

Dessutom bevaras det totala masstalet och laddningen vilket ger

$$^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$$

vilket ger $^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu} + \text{energi}$

b) Den frigjorda energin fås som

$$E = (m_{\mathrm{H}} - m_{\mathrm{He}}) \cdot \mathrm{c}^2 =$$

$$= (3{,}016049 - 3{,}016029) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ J} =$$

$$= 2{,}9890 \cdot 10^{-15} \text{ J} = \frac{2{,}9890 \cdot 10^{-15}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 18{,}66 \text{ keV}$$

Svar: a) ${}^{3}_{1}\mathrm{H} \to {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \overline{\nu} + \text{energi}$ och b) 18,7 keV

8.13 β^+-strålning resulterar i tre produkter, en är ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$

$${}^{26}_{13}\mathrm{Al} \to \mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$$

Dessutom bevaras det totala masstalet och laddningen vilket ger

$${}^{26}_{13}\mathrm{Al} \to {}^{26}_{12}\mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$$

vilket ger ${}^{26}_{13}\mathrm{Al} \to {}^{26}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$

Svar: ${}^{26}_{13}\mathrm{Al} \to {}^{26}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$

8.14 β^+-strålning resulterar i tre produkter, en är ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$

$${}^{64}_{29}\mathrm{Cu} \to \mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$$

Dessutom bevaras det totala masstalet och laddningen vilket ger

$${}^{64}_{29}\mathrm{Cu} \to {}^{64}_{28}\mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$$

vilket ger ${}^{64}_{29}\mathrm{Cu} \to {}^{64}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$

Den frigjorda energin fås som

$$E = (m_{\mathrm{Cu}} - m_{\mathrm{Ni}} - 2 \cdot m_{\mathrm{elektron}}) \cdot \mathrm{c}^2 =$$

$$= (63{,}929766 - 63{,}927970 - 2 \cdot 0{,}000549) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ J} =$$

$$= 1{,}0432 \cdot 10^{-13} \text{ J} = \frac{1{,}0432 \cdot 10^{-13}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 0{,}651 \text{ MeV}$$

Svar: ${}^{64}_{29}\mathrm{Cu} \to {}^{64}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu + \text{energi}$ och 0,65 MeV

Halveringstid och aktivitet

8.15 Om vi startar med N_0 radioaktiva kärnor återstår det $\frac{N_0}{2}$ efter en halveringstid. Efter ytterligare en halveringstid halveras detta antal och då återstår det $\frac{\left(\frac{N_0}{2}\right)}{2} = \frac{N_0}{4}$.

Svar: Falskt

8.16 Sönderfallskonstanten ges av

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

vilket ger oss halveringstiden som

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{1{,}37 \cdot 10^{-11}}\ \text{s} = 5{,}0598 \cdot 10^{10}\ \text{s}$$

Svar: $5{,}06 \cdot 10^{10}$ s

8.17 Antalet radioaktiva kärnor i ett prov minskar med tiden enligt

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

där $N_0 = 2{,}0 \cdot 10^{10}$, $T_{1/2} = 2$ min och $t = 4$ min

Detta ger antalet radioaktiva kärnor efter 4 min som

$$N = 2{,}0 \cdot 10^{10} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4}{2}} = 5{,}0 \cdot 10^{9}$$

Svar: $5{,}0 \cdot 10^{9}$ stycken

8.18 a) β^{+}-strålning resulterar i tre produkter, en är ${}^{0}_{1}\text{e}$

$$^{18}_{9}\text{F} \rightarrow \text{Y} + {}^{0}_{1}\text{e} + \nu + \text{energi}$$

Dessutom bevaras det totala masstalet och laddningen vilket ger

$$^{18}_{9}\text{F} \rightarrow {}^{18}_{8}\text{Y} + {}^{0}_{1}\text{e} + \nu + \text{energi}$$

vilket ger $^{18}_{9}\text{F} \rightarrow {}^{18}_{8}\text{O} + {}^{0}_{1}\text{e} + \nu + \text{energi}$

b) Antalet radioaktiva kärnor i ett prov minskar med tiden enligt

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Ur detta fås den sökta tiden enligt

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = \ln\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = \frac{t}{T_{1/2}} \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$t = T_{1/2} \frac{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}$$

där $N = 0{,}10 N_0$, $T_{1/2} = 110$ min

vilket ger $t = 110 \frac{\ln\left(\frac{0{,}10 N_0}{N_0}\right)}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}$ min = $t = 110 \frac{\ln(0{,}1)}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}$ min =

= 365,4 min = 6,09 h

Svar: 6,1 h

8.19 Antalet radioaktiva kärnor i ett prov minskar med tiden enligt

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Ur detta fås den sökta halveringstiden enligt

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = \ln\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = \frac{t}{T_{1/2}} \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$T_{1/2} = t\frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}$$

där $N_0 = 2{,}8\cdot 10^{21}$, $N = 1{,}5\cdot 10^{21}$ och t = 57 min

Detta ger $T_{1/2} = 57\frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\ln\left(\frac{1{,}5\cdot 10^{21}}{2{,}8\cdot 10^{21}}\right)}\text{min} =$

$$= T_{1/2} = 57\frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\ln\left(\frac{1{,}5}{2{,}8}\right)}\text{min} = 63{,}3\text{ min}$$

Svar: 63 minuter

8.20 Från klockan 8.00 till 8.10 minskade provets aktivitet från 8 000 Bq till 4 000 Bq. Aktiviteten halverades alltså på 10 minuter vilket betyder att provets halveringstid är 10 min. Från klocka 8.00 till 8.30 har det gått 30 min. Provets aktivitet då fås som

$$A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

där $A_0 = 8000\,\text{Bq}$, t = 30 min och $T_{1/2} = 10$ min enligt ovan.

Detta ger $A = 8000\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{30}{10}}$ Bq = 1000 Bq

Svar: 1000 Bq

8.21 Antalet radioaktiva kärnor då mätningen startade ges av

$$N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{A_0}{\ln 2 / T_{1/2}} = \frac{A_0 T_{1/2}}{\ln 2}$$

Efter tre minuter uppmättes 450 sönderfall/s vilket ger oss

$$450 = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{T_{1/2}}} \qquad (1)$$

Efter ytterligare en minut var aktiviteten 380 sönderfall/s

$$380 = 450 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{T_{1/2}}}$$

Ur detta fås provets halveringstid som

$$\frac{380}{450} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{T_{1/2}}}$$

$$\ln\left(\frac{380}{450}\right) = \ln\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{T_{1/2}}} = \frac{1}{T_{1/2}} \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\ln\left(\frac{380}{450}\right)} \text{ min} = 4{,}0996 \text{ min} = 245{,}98 \text{ s}$$

(1) ger $A_0 = \dfrac{450}{\left(\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{T_{1/2}}}\right)} = \dfrac{450}{\left(\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{4{,}0996}}\right)} \text{ Bq} = 747{,}3 \text{ Bq}$

Antalet radioaktiva kärnor då mätningen startade nu som

$$N_0 = \frac{747{,}3 \cdot 245{,}98}{\ln 2} = 265197$$

Svar: $2{,}65 \cdot 10^5$ stycken

Kärnreaktioner

8.22 Ett positivt Q-värde innebär att den totala massan är större före kollisionen än efter. Den saknade massan återfinns som rörelseenergi hos kärnan och partikeln som bildats vid kollisionen. Massa har alltså blivit till rörelseenergi.

Svar: Falskt

8.23 Vid kärnreaktioner bevaras bl.a. det totala masstalet och den totala laddningen.

Här är reaktionen

$$^{4}_{2}\mathrm{He}+^{27}_{13}\mathrm{Al}\to ^{A}_{Z}\mathrm{Y}+^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Före reaktionen är det totala masstalet 4 + 27 = 31. För att det ska bevaras måste 31 = A + 1 vara uppfyllt. Det ger A = 30.

Före reaktionen är antalet protoner 2 + 13 = 15. För att laddningen ska bevaras måste 15 = Z + 0 vara uppfyllt. Det ger Z = 15.

Vi har då

$$^{4}_{2}\mathrm{He}+^{27}_{13}\mathrm{Al}\to ^{30}_{15}\mathrm{Y}+^{1}_{0}\mathrm{n}$$

och Y är då lika med P

$$^{4}_{2}\mathrm{He}+^{27}_{13}\mathrm{Al}\to ^{30}_{15}\mathrm{P}+^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Svar: A = 30, Z = 15 och Y = P

8.24 a) Vid kärnreaktioner bevaras bl.a. det totala masstalet och den totala laddningen.

Givet är $^{1}_{1}\mathrm{p}+^{18}_{8}\mathrm{O}\to ^{18}_{9}\mathrm{F}+^{A}_{Z}\mathrm{Y}$

Det totala masstalet bevaras om 1 + 18 = 18 + A är uppfyllt. Det ger A = 1.

För att laddningen ska bevaras måste 1 +8 = 9 + Z vara uppfyllt. Det ger Z = 0.

Vi har då $^{1}_{1}\mathrm{p}+^{18}_{8}\mathrm{O}\to ^{18}_{9}\mathrm{F}+^{1}_{0}\mathrm{Y}$

och Y är då lika med en neutron

$$^{1}_{1}\mathrm{p}+^{18}_{8}\mathrm{O}\to ^{18}_{9}\mathrm{F}+^{1}_{0}\mathrm{n}$$

b) Den frigjorda energin fås som

$$E = \Delta mc^2$$

$$E = \left(\left(m_\text{p} + m_\text{O}\right) - \left(m_\text{F} + m_\text{n}\right)\right) \cdot \text{c}^2$$

Ur detta fås den sökta nuklidmassan enligt

$$\frac{E}{\text{c}^2} = \left(\left(m_\text{p} + m_\text{O}\right) - \left(m_\text{F} + m_\text{n}\right)\right)$$

$$\frac{E}{\text{c}^2} = \left(m_\text{p} + m_\text{O}\right) - \left(m_\text{F} + m_\text{n}\right)$$

$$\left(m_\text{F} + m_\text{n}\right) = \left(m_\text{p} + m_\text{O}\right) - \frac{E}{\text{c}^2}$$

$$m_\text{F} = \left(m_\text{p} + m_\text{O}\right) - \frac{E}{\text{c}^2} - m_\text{n}$$

$$m_\text{F} = \left(m_\text{p} + m_\text{O} - m_\text{n}\right) - \frac{E}{\text{c}^2}$$

där $m_\text{p} = 1{,}007276 \text{ u}$

$$m_\text{O} = m_\text{O,nuklid} - Z_\text{O} m_\text{elektron} = 17{,}999160 - 8 \cdot 0{,}000549 \text{ u} =$$

$$= 17{,}994768 \text{ u}$$

$$m_\text{n} = 1{,}008665 \text{ u}$$

$$E = 2{,}453 \cdot 10^6 \text{ eV} = 2{,}453 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \text{ J} =$$

$$= 3{,}9297 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Detta ger

$$m_\text{F} = \left(1{,}007276 + 17{,}994768 - 1{,}008665\right) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} - \frac{3{,}9297 \cdot 10^{-13}}{\left(3 \cdot 10^8\right)^2}$$

$$\text{kg} = 2{,}9874 \cdot 10^{-26} \text{ kg} = \frac{2{,}9874 \cdot 10^{-26}}{1{,}66054 \cdot 10^{-27}} \text{ u} = 17{,}9907 \text{ u}$$

Svar: 18 u

8.25 a) Vid kärnreaktioner bevaras bl.a. det totala masstalet och den totala laddningen.

Här är reaktionen

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} $$

Före reaktionen är det totala masstalet 2 + 9 = 11. För att det ska bevaras måste 11 = A + 4 vara uppfyllt. Det ger A = 7.

Före reaktionen är antalet protoner 1 + 4 = 5. För att laddningen ska bevaras måste 5 = Z + 2 vara uppfyllt. Det ger Z = 3.

Vi har då

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{7}_{3}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} $$

och Y är då lika med Li

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} $$

b) Reaktionens *Q*-värde fås som

$$ Q = \Delta mc^2 = \left(\left(m_{\mathrm{H}} + m_{\mathrm{Be}}\right) - \left(m_{\mathrm{Li}} + m_{\mathrm{He}}\right)\right) \cdot \mathrm{c}^2 = $$

Vid denna reaktion är antalet elektroner före lika som antalet efter och vi kan därför använda nuklidmassorna direkt.

$$ Q = \left(\left(m_{\mathrm{H,nuklid}} + m_{\mathrm{Be,nuklid}}\right) - \left(m_{\mathrm{Li,nuklid}} + m_{\mathrm{He,nuklid}}\right)\right) \cdot \mathrm{c}^2 $$

där $m_{\mathrm{H,nuklid}} = 2{,}014102\ \mathrm{u}$

$m_{\mathrm{Be,nuklid}} = 9{,}012182\ \mathrm{u}$

$m_{\mathrm{Li,nuklid}} = 7{,}016004\ \mathrm{u}$

$m_{\mathrm{He,nuklid}} = 4{,}002603\ \mathrm{u}$

Detta ger

$$ Q = \left(\left(2{,}014102 + 9{,}012182\right) - \left(7{,}016004 + 4{,}002603\right)\right) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot \left(3 \cdot 10^{8}\right)^2 $$

J = $1{,}14732 \cdot 10^{-12}$ J = $\dfrac{1{,}14732 \cdot 10^{-12}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}}$ eV = 7,161 MeV

Svar: 7,2 MeV

8.26 a) Vid kärnreaktioner bevaras bl.a. det totala masstalet och den totala laddningen.

Här är reaktionen

$$^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow ^{A}_{Z}\mathrm{Y} + ^{1}_{1}\mathrm{H}$$

Före reaktionen är det totala masstalet 4 + 14 = 18. För att det ska bevaras måste 18 = A + 1 vara uppfyllt. Det ger A = 17.

Före reaktionen är antalet protoner 2 + 7 = 9. För att laddningen ska bevaras måste 9 = Z + 1 vara uppfyllt. Det ger Z = 8.

Vi har då

$$^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow ^{17}_{8}\mathrm{Y} + ^{1}_{1}\mathrm{H}$$

och Y är då lika med O

$$^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow ^{17}_{8}\mathrm{O} + ^{1}_{1}\mathrm{H}$$

b) Reaktionens *Q*-värde fås som

$$Q = \Delta mc^2 = \left(\left(m_{\mathrm{He}} + m_{\mathrm{N}}\right) - \left(m_{\mathrm{O}} + m_{\mathrm{H}}\right)\right) \cdot \mathrm{c}^2 =$$

Vid denna reaktion är antalet elektroner före lika som antalet efter och vi kan därför använda nuklidmassorna direkt.

$$Q = \left(\left(m_{\mathrm{He,nuklid}} + m_{\mathrm{N,nuklid}}\right) - \left(m_{\mathrm{O,nuklid}} + m_{\mathrm{H,nuklid}}\right)\right) \cdot \mathrm{c}^2$$

där $m_{\mathrm{He,nuklid}} = 4{,}002603 \text{ u}$

$$m_{\mathrm{N,nuklid}} = 14{,}003074 \text{ u}$$

$$m_{\mathrm{O,nuklid}} = 16{,}999132 \text{ u}$$

$$m_{\mathrm{H,nuklid}} = 1{,}007825 \text{ u}$$

Detta ger

$$Q = \left(\left(4{,}002603 + 14{,}003074\right) - \left(16{,}999132 + 1{,}007825\right)\right) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot \left(3 \cdot 10^{8}\right)^2$$

$$\text{J} = -1{,}91294 \cdot 10^{-13} \text{ J} = \frac{-1{,}91294 \cdot 10^{-13}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = -1{,}1941 \text{ MeV}$$

c) Då *Q*-värdet är negativt är reaktionen endoterm

Svar: a) $^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow ^{17}_{8}\mathrm{O} + ^{1}_{1}\mathrm{H}$, b) $-1{,}2$ MeV och c) endoterm

Fission och fusion

8.27 Den vid fission och fusion frigjorda energin kommer från kärnans massa, enligt $E = \Delta mc^2$ vilket betyder att massan per nukleon minskar.

Svar: Sant

8.28 Den vid fusionen frigjorda energin fås som

$$E = \Delta mc^2 = \left(m_{\text{före}} - m_{\text{efter}}\right) \cdot \mathrm{c}^2$$

där $m_{\text{före}} = m_{\text{He}} + m_{\text{H}} = 3{,}016029 + 2{,}014102\,\text{u} = 5{,}030131\ \text{u}$

och $m_{\text{efter}} = m_{\text{He}} + m_{\text{H}} = 4{,}002603 + 1{,}007825\,\text{u} = 5{,}010428\ \text{u}$

Den frigjorda energin är

$$E = \left(5{,}030131 - 5{,}010428\right) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot \left(3 \cdot 10^{8}\right)^2\ \text{J} =$$

$$= 2{,}94459 \cdot 10^{-12}\ \text{J} = \frac{2{,}94459 \cdot 10^{-12}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}}\,\text{eV} = 18{,}380\ \text{MeV}$$

Svar: 18,4 MeV

8.29 Den vid fusionen frigjorda energin fås som

$$E = \Delta mc^2 = \left(m_{\text{före}} - m_{\text{efter}}\right) \cdot \mathrm{c}^2$$

där $m_{\text{före}} = 2m_{\text{H}} = 2 \cdot 2{,}014102\ \text{u} = 4{,}028204\ \text{u}$

och $m_{\text{efter}} = m_{\text{He}} + m_{\text{n}} = 3{,}016029 + 1{,}008665\,\text{u} = 4{,}024694\ \text{u}$

Den frigjorda energin är

$$E = \left(4{,}028204 - 4{,}024694\right) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot \left(3 \cdot 10^{8}\right)^2\ \text{J} =$$

$$= 5{,}245646 \cdot 10^{-13}\ \text{J} = \frac{5{,}245646 \cdot 10^{-13}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}}\,\text{eV} = 3{,}274\ \text{MeV}$$

Svar: 3,27 MeV

Absorberad och ekvivalent dos

8.30 Den ekvivalenta dosen beräknas som kvalitetsfaktor multiplicerat med den absorberade dosen där den absorberade dosen beräknas som absorberad energi dividerat med massan som absorberat energin enligt

$$H = QD = Q\frac{E}{m}$$

Den ekvivalenta dosen är alltså beroende av massan hos det som absorberar strålningen.

Svar: Falskt

8.31 Absorberad energi kan beräknas som

$$E = Dm$$

där $D = 3{,}5 \cdot 10^{-5}$ Gy

och $m = 72$ kg

vilket ger $E = 3{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 72\ \text{J} = 2{,}52 \cdot 10^{-3}$ J

Svar: 2,5 mJ

8.32 Den energi som behövs för att omvandla 2,2 kg is med temperaturen 0 °C till ånga med temperaturen 100 °C fås som

$$E = E_{\text{smält}} + E_{\text{höj T}} + E_{\text{förånga}} =$$

$$= ml_{\text{s}} + mc_{\text{vatten}}\Delta T + ml_{\text{å}} = m(l_{\text{s}} + c_{\text{vatten}}\Delta T + l_{\text{å}})$$

Den absorberade strålningsenergin fås som

$$E = Dm$$

vilket ger

$$Dm = m(l_{\text{s}} + c_{\text{vatten}}\Delta T + l_{\text{å}})$$

eller $D = l_{\text{s}} + c_{\text{vatten}}\Delta T + l_{\text{å}}$

där $l_{\text{s}} = 334 \cdot 10^{3}$ J/kg

$c = 4{,}18 \cdot 10^{3}$ J/(kgK)

$\Delta T = 100$ K

och $l_å = 2260 \cdot 10^3$ J/kg

vilket ger $D = 334 \cdot 10^3 + 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 100 + 2260 \cdot 10^3$ Gy = 3,01 MGy

Svar: 3,0 MGy

8.33 Den av tumören absorberade energin fås som

$E = Dm = 9{,}0 \cdot 1{,}7$ J = 15,3 J

Detta sker på 750 s vilket betyder att tumören varje sekund absorberar energin

$\frac{E}{t} = \frac{15{,}3}{750}$ J/s = 0,0204 J = $\frac{0{,}0204}{1{,}602 \cdot 10^{-19}}$ eV =

$= 1{,}27341 \cdot 10^{17}$ eV

Denna energi absorberas i form av partiklar som var och en bidrar med 0,35 MeV. Antalet partiklar fås därför från

$N \cdot 0{,}35 \cdot 10^6 = 1{,}27341 \cdot 10^{17}$

som $N = \frac{1{,}27341 \cdot 10^{17}}{0{,}35 \cdot 10^6}$ stycken = $3{,}638 \cdot 10^{11}$ stycken

Svar: $3{,}6 \cdot 10^{11}$ stycken

8.34 Den ekvivalenta dosen fås som

$H = QD$

där Q = 20 för alfapartiklar

och D = 0,12

vilket ger $H = 20 \cdot 0{,}12$ Sv = 2,4 Sv

Svar: 2,4 Sv

8.35 Den bestrålade vävnaden får, varje sekund, den ekvivalenta dosen 28 μSv av röntgenstrålning.

$$H = 28 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$$

Det betyder att vävnaden varje sekund får en absorberad dos

$$D = \frac{H}{Q} = \frac{28 \cdot 10^{-6}}{1} = 28 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$$

Q = 1 för röntgenstrålning då den är en form av gammastrålning.
Vävnaden absorberar då varje sekund energin

$$E = Dm = 28 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}85 \text{ J} = 2{,}38 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

Totalt absorberar vävnaden 3,2 μJ under undersökningen vilket ger oss tiden, *t*, för undersökningen från

$$3{,}2 \cdot 10^{-6} \text{ J} = t \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-5}$$

som $$t = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-6}}{2{,}38 \cdot 10^{-5}} \text{ s} = 0{,}134 \text{ s}$$

Svar: 0,13 s