

11 Kärnfysik

1101-1102. Se lärobokens facit.

1103. a) $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{650 \cdot 10^{-9}} \text{ Hz} = 4,6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

b) $E = hf = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 4,6 \cdot 10^{14} \text{ J} = 3,1 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$3,1 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{3,1 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 1,9 \text{ eV}$$

Svar: a) $4,6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ b) $3,1 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ (1,9 eV)

1104. a) Kol är nr 6 i det periodiska systemet.
En C-14 har 6 protoner, $(14 - 6) = 8$ neutroner och 6 elektroner.
b) Natrium är nr 11 i det periodiska systemet.
En Na-25 har 11 protoner $(25 - 11) = 14$ neutroner och 11 elektroner.
c) Uran är nr 92 i det periodiska systemet.
En U-235 har 92 protoner $(235 - 92) = 143$ neutroner och 92 elektroner.

Svar: a) 8n, 6p, 6e b) 14n, 11p, 11e c) 143n, 92p, 92e

1105. Se lärobokens facit.

1106. a) För att beräkna energierna för de olika övergångarna subtraheras sluttillståndets energi från begynnelsestillståndets.

A: $(3,48 - 0) \text{ MeV} = 3,48 \text{ MeV}$

B: $(3,48 - 2,61) \text{ MeV} = 0,87 \text{ MeV}$

C: $(2,61 - 0) \text{ MeV} = 2,61 \text{ MeV}$

D: $(3,20 - 2,61) \text{ MeV} = 0,59 \text{ MeV}$

b) A: $3,48 \text{ MeV} = 3,48 \cdot 10^6 \text{ eV} =$

$$= 3,48 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{5,6 \cdot 10^{-13}} \text{ m} = 0,36 \text{ pm}$$

B: $0,87 \text{ MeV} = 0,87 \cdot 10^6 \text{ eV} =$

$$= 0,87 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,4 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{1,4 \cdot 10^{-13}} \text{ m} = 1,43 \text{ pm}$$

C: $2,61 \text{ MeV} = 2,61 \cdot 10^6 \text{ eV} =$

$$= 2,661 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,2 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = 4,2 \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{5,6 \cdot 10^{-13}} \text{ m} =$$

$$= 0,48 \text{ pm}$$

D: $0,59 \text{ MeV} = 0,59 \cdot 10^6 \text{ eV} =$

$$= 0,59 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 9,5 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{9,5 \cdot 10^{-14}} \text{ m} = 2,10 \text{ pm}$$

Svar: a) A: 3,48 MeV, B: 0,87 MeV, C: 2,61 MeV, D: 0,59 MeVb) A: 0,36 pm, B: 1,43 pm, C: 0,48 pm, D: 2,10 pm

1107. a) $E = hf = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 2,5 \cdot 10^9 \text{ J} = 1,7 \cdot 10^{-24} \text{ J} =$
$$= \frac{1,7 \cdot 10^{-24}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ eV} = 10 \text{ } \mu\text{eV}$$

b) $E = \frac{hc}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{1,7 \cdot 10^{-24}} \text{ m} = 0,12 \text{ m}$$

Svar: a) $1,7 \cdot 10^{-24} \text{ J} = 10 \text{ } \mu\text{eV}$ b) 0,12 m

1108. Vi räknar om alla storheter till våglängder.

1) 0,1 pm är en mycket kort våglängd.

$$2) 2 \text{ eV} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{3,2 \cdot 10^{-19}} \text{ m} = 620 \text{ nm}$$

3) $f = 500 \text{ GHz}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{500 \cdot 10^9} \text{ m} = 0,6 \text{ mm}$$

Gammastrålning har mycket kort våglängd, grönt ljus har längre våglängd och IR-strålning är ännu mer långvågig.

Grönt ljus: 2 eV, IR-strålning: 500 GHz,

Gammastrålning: 0,1 pm

Svar: Grönt ljus: 2 eV, IR-strålning: 500 GHz,
Gammastrålning: 0,1 pm

1109. a) Kortast våglängd har det violetta ljuset.

b) Högst frekvens har det violetta ljuset.

Uttrycket $f = \frac{c}{\lambda}$ visar att kort våglängd svarar mot hög frekvens.

c) Rött ljus har våglängder ca 750 nm och violett ljus ca 400 nm

$$d) E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{Rött ljus: } E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{750 \cdot 10^{-9}} \text{ J} =$$

$$= 2,7 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{2,7 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 1,7 \text{ eV}$$

$$\text{Violett ljus: } E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} \text{ J} =$$

$$= 5,0 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{5,0 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 3,1 \text{ eV}$$

Svar: a) det violetta ljuset b) det violetta ljuset
c) 400 nm – 750 nm

d) 1,7 eV – 3,1 eV ($2,7 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 5,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)

1110-1112. Se lärobokens facit.

1113. a) Eu (europium) är nr 65 i det periodiska systemet.

Eu-152 har $(152 - 63) = 89$ neutroner

b) En nuklidtabell anger att Eu-152 väger 151,921742 u.

c) Vid A detekteras en gammafoton med energin

$$E = 360 \text{ keV}$$

$$360 \text{ keV} = 360 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5,8 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{5,8 \cdot 10^{-14}} \text{ m} = 3,5 \text{ pm}$$

Vid B detekteras en gammafoton med energin

$$E = 1400 \text{ keV}$$

$$1400 \text{ keV} = 1400 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,2 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{2,2 \cdot 10^{-13}} \text{ m} = 0,89 \text{ pm}$$

Svar: a) 89 b) 151,921742 u. c) A: 3,5 pm, B: 0,89 pm

1114. a) Under 1 h renas 65 m^3 vatten. Energin som krävs för detta är $E = P \cdot t = 65 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 65 \text{ kWh}$.

Kostnaden för detta är $65 \cdot 1,20 \text{ kr} = 78 \text{ kr}$.

$$\text{Kostnaden per } \text{m}^3 \text{ är } \frac{78}{250} \text{ kr} = 0,31 \text{ kr}$$

b) 1 m^3 vatten väger 1000 kg.

För att koka upp 1 m^3 vatten (med temperaturen $20 \text{ }^\circ\text{C}$) krävs energin

$$E = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 1000 \cdot (100 - 20) \text{ kJ} =$$

$$= 3,3 \cdot 10^8 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} =$$

$$= 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$3,3 \cdot 10^8 \text{ J} = \frac{3,3 \cdot 10^8}{3,6 \cdot 10^6} \text{ kWh} = 93 \text{ kWh}$$

Detta skulle kosta $93 \cdot 1,20 \text{ kr} = 111 \text{ kr}$, dvs. ca 100 kr

c) En Cryptosporidium har diametern $6 \text{ }\mu\text{m}$, dvs radien $3 \text{ }\mu\text{m}$. Dess area är

$$A = 4\pi r^2 = 4\pi \cdot (3 \cdot 10^{-6})^2 \text{ m}^2 = 1,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$$

För att den ska bestrålas med 200 J/m^2 måste den få en strålningsenergi av

$$200 \cdot 1,13 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ J} = 23 \text{ nJ}$$

d) Om våglängden är $\lambda = 254 \text{ nm}$ har varje foton energin

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{254 \cdot 10^{-9}} \text{ J} = 7,9 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Det krävs då } \frac{23 \cdot 10^{-9}}{7,9 \cdot 10^{-19}} = 2,9 \cdot 10^{10} = 30 \text{ miljarder}$$

fotoner för att döda parasiten.

Svar: a) 0,31 kr b) ca 100 kr c) 23 nJ d) 30 miljarder

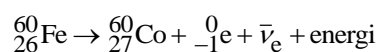
1115. Vid kärnreaktioner bevaras både masstal och laddning.

a) $60 - 0 = 60$ $26 - (-1) = 27$

Grundämne nr 27 är kobolt (Co).

Vid ett β^- -sönderfall skapas också en antineutrino $\bar{\nu}_e$.

Reaktionen är

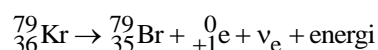


b) $79 - 0 = 79$ $36 - (+1) = 35$

Grundämne nr 35 är brom (Br).

Vid ett β^+ -sönderfall skapas också en neutrino ν_e .

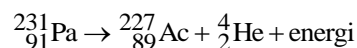
Reaktionen är



c) $231 - 4 = 227$ $91 - 2 = 89$

Grundämne nr 89 är aktinium (Ac).

Reaktionen är

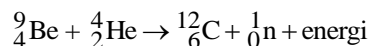


d) Beryllium har atomnummer 4 och helium har atomnummer 2.

$$4 + 2 = 6 + 0 \qquad 9 + 4 = 12 + 1$$

Grundämne nr 6 är kol (C).

Reaktionen är



e) Summan av masstalen till höger om reaktionspilen är $259 + 3 \cdot 1 = 262$. Summan av masstalen ska då vara 262 även till vänster om reaktionspilen.

$$252 + x = 262 \Rightarrow x = 10$$

Laddningen till höger om reaktionspilen är

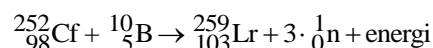
$$103 + 3 \cdot 0 = 103$$

Laddningen ska då vara 103 även till vänster om reaktionspilen.

$$98 + y = 103 \Rightarrow y = 5$$

Grundämne nr 5 är bor (B).

Reaktionen är



f) Masstalet till vänster om reaktionspilen är 252.

Summan av masstalen ska då vara 252 även till höger om reaktionspilen.

$$140 + 4 \cdot 1 + x = 252 \Rightarrow x = 108$$

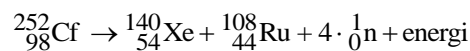
Laddningen till vänster om reaktionspilen är 98.

Laddningen ska då vara 98 även till höger om reaktionspilen.

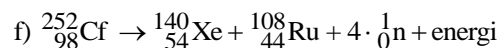
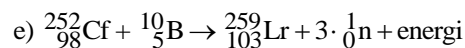
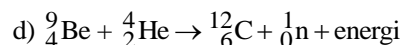
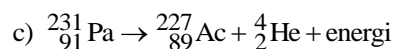
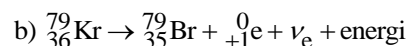
$$54 + y + 4 \cdot 0 = 98 \Rightarrow y = 44$$

Grundämne nr 44 är rutenium (Ru).

Reaktionen är



Svar: a) ${}_{26}^{60}\text{Fe} \rightarrow {}_{27}^{60}\text{Co} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e + \text{energi}$



1116. A: Laddningen Z ökar med 1 och antalet neutroner N

minskar med 1. Det är ett β^- -sönderfall.

B: Laddningen Z är oförändrad och antalet neutroner N minskar med 1. Det är en neutronemission.

C: Laddningen Z minskar med 1 och antalet neutroner N är oförändrad. Det är en protonemission.

D: Laddningen Z minskar med 1 och antalet neutroner N ökar med 1. Det är ett β^+ -sönderfall.

E: Laddningen Z minskar med 2 och antalet neutroner N minskar med 2. Det är ett α -sönderfall.

Svar: A: β^- , B: n, C: p, D: β^+ , E: α

1117. $0,10 \text{ u} = 0,10 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 93 \text{ MeV}$

Svar: 93 MeV

1118. $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$

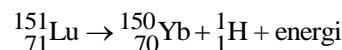
$$1,34 \text{ MeV} = \frac{1,34}{931,5} \text{ u} = 0,00144 \text{ u}$$

Svar: 0,00144 u

1119. a) Lutetium är nr 71 i det periodiska systemet.

Nr 70 är ytterbium (Yb).

Sönderfallsformeln är



b) $m({}_{71}^{151}\text{Lu}) = 150,96577 \text{ u}$

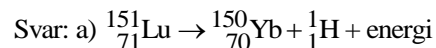
$$m({}_1^1\text{H}) = 1,00783 \text{ u}$$

$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$$

$$0,06849 \text{ MeV} = \frac{0,06849}{931,5} \text{ u} = 0,000073 \text{ u}$$

$$m({}_{70}^{150}\text{Yb}) =$$

$$= (150,96577 - 1,00783 - 0,00007) \text{ u} = 149,95787 \text{ u}$$



b) 149,95787 u

1120. a) Kol är nr 6 i det periodiska systemet. Vid β^+ -sönderfall minskar laddningen med 1. Vid ett sådant sönderfall utsänds också en neutrino.
Nr 5 i det periodiska systemet är bor (B).
Sönderfallsformeln är
- $${}_{6}^{11}\text{C} \rightarrow {}_{5}^{11}\text{B} + {}_{+1}^{0}\text{e} + \nu_e + \text{energi}$$
- b) $\Delta m = (m_{\text{C-11}} - 6m_e) - (m_{\text{B-11}} - 5m_e) - m_e =$
 $= m_{\text{C-11}} - m_{\text{B-11}} - 2m_e =$
 $= (11,011434 - 11,009305 - 2 \cdot 0,000549) \text{ u} = 0,00103 \text{ u}$
 $E = 0,00103 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 0,96 \text{ MeV}$

Svar: a) ${}_{6}^{11}\text{C} \rightarrow {}_{5}^{11}\text{B} + {}_{+1}^{0}\text{e} + \nu_e + \text{energi}$

b) 0,96 MeV

1121. Plutonium har atomnummer 94.
 $94 = 92 + 2$ $241 = 237 + 4$
 α -sönderfallet sker enligt formeln
- $${}_{94}^{241}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{237}\text{U} + {}_{2}^{4}\text{He} + \text{energi}$$
- Elektronerna är lika många före och efter sönderfallet så de behöver inte räknas med vid energiberäkningen.
- $$\Delta m = m_{\text{Pu-241}} - m_{\text{U-237}} - m_{\text{He-4}} =$$
- $$= (241,056852 - 237,048730 - 4,002603) \text{ u} =$$
- $$= 0,005519 \text{ u} = 0,005519 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 5,14 \text{ MeV}$$
- β^- -sönderfallet sker enligt formeln
- $${}_{94}^{241}\text{Pu} \rightarrow {}_{95}^{241}\text{Am} + {}_{-1}^{0}\text{e} + \bar{\nu}_e + \text{energi}$$
- $$\Delta m = (m_{\text{Pu-241}} - 94m_e) - (m_{\text{Am-241}} - 95m_e) - m_e =$$
- $$= m_{\text{Pu-241}} - m_{\text{Am-241}} =$$
- $$= (241,056852 - 241,056823) \text{ u} = 0,000029 \text{ u} =$$
- $$= 0,000029 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 0,027 \text{ MeV} = 27 \text{ keV}$$

Svar: ${}_{94}^{241}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{237}\text{U} + {}_{2}^{4}\text{He} + 5,14 \text{ MeV}$

${}_{94}^{241}\text{Pu} \rightarrow {}_{95}^{241}\text{Am} + {}_{-1}^{0}\text{e} + \bar{\nu}_e + 27 \text{ keV}$

1122. Uran har atomnummer 92 och bly atomnummer 82. Man får ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb}$
 Masstalet har minskat med $(238 - 206) = 32$.
 β^- -sönderfall förändrar inte masstalet.
 Varje α -sönderfall minskar masstalet med 4 enheter.

Det har således förekommit $\frac{32}{4} = 8$ α -sönderfall.

Eftersom α -partikeln innehåller två protoner har antalet protoner i kärnan minskat med $8 \cdot 2 = 16$ på grund av de åtta α -sönderfallen. Atomnumret för bly borde då vara $92 - 16 = 76$ i stället för 82.

Vid β^- -sönderfall ökar atomnumret med 1 enhet.

För att öka från 76 till 82 krävs 6 β^- -sönderfall (under förutsättning att inga β^+ -sönderfall ägt rum).

Svar: 8 α -sönderfall och 6 β^- -sönderfall

1123. Vanadin har atomnummer 23. Titan har atomnummer 22.
 Reaktionsformeln är
- $${}_{23}^{48}\text{V} + {}_{-1}^{0}\text{e} \rightarrow {}_{22}^{48}\text{Ti} + \nu_e + \text{energi}$$
- $$\Delta m = (m_{\text{V-48}} - 23m_e) + m_e - (m_{\text{Ti-48}} - 22m_e) =$$
- $$= m_{\text{V-48}} - m_{\text{Ti-48}} = (47,952254 - 47,947946) \text{ u} =$$
- $$= 0,004308 \text{ u} = 0,004308 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 4,0 \text{ MeV}$$

Svar: ${}_{23}^{48}\text{V} + {}_{-1}^{0}\text{e} \rightarrow {}_{22}^{48}\text{Ti} + \nu_e + 4,0 \text{ MeV}$

1124. Seaborgium (Sg) har atomnummer 106.
 Californium (Cf) har atomnummer 98.
 Syre (O) har atomnummer 8.
 Masstal och laddning bevaras i reaktionen.
 Reaktionsformeln är
- $${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_{8}^{18}\text{O} \rightarrow {}_{106}^{263}\text{Sg} + 4 \cdot {}_{0}^{1}\text{n} + \text{energi}$$
- Svar: ${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_{8}^{18}\text{O} \rightarrow {}_{106}^{263}\text{Sg} + 4 \cdot {}_{0}^{1}\text{n} + \text{energi}$

1125. Se lärobokens facit.

1126. Aktiviteten var 8000 Bq kl. 8:00 och 4000 Bq 10 minuter senare. Halveringstiden är tydligen 10 minuter.
 a) Kl. 8:30 har det gått ytterligare 20 minuter, dvs. 2 halveringstider sedan kl. 8:10. Aktiviteten har således halverats ytterligare 2 gånger till 1000 Bq.
 b) 16000 Bq är dubbelt så mycket som 8000 Bq. Denna aktivitet hade preparatet 10 minuter före kl. 8:00, dvs. kl 7:50.

Svar: a) 1000 Bq b) kl. 7:50

1127. a) Halveringstiden för C-14 är ca 5700 år.

Aktiviteten A kan skrivas

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad 0,965 \cdot A_0 = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$0,965 = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow \ln 0,965 = \ln 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{t}{T_{1/2}} = -\frac{\ln 0,965}{\ln 2}$$

$$t = -5700 \cdot \frac{\ln 0,965}{\ln 2} \text{ år} = 293 \text{ år}$$

Träet i skidorna är bara ca 300 år gammalt. Gustav Vasa levde för 500 år sedan.

b) Se lärobokens facit.

Svar: a) Nej b) –

1128. a) Aktiviteten $A = \lambda \cdot N$, där λ är sönderfallskonstanten uttryckt i sekunder och N är antalet radioaktiva kärnor.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{30,1 \text{ år}} = \frac{\ln 2}{30,1 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = 7,3 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

$$A = \lambda \cdot N = 7,3 \cdot 10^{-10} \cdot 2,9 \cdot 10^{12} \text{ Bq} = 2100 \text{ Bq}$$

b) Efter två år har aktiviteten minskat till

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 2100 \cdot 2^{-\frac{2}{30,1}} \text{ Bq} = 2100 \cdot 0,955$$

Aktiviteten har således minskat med 4,5 %.

$$\text{c) } 1500 = 2100 \cdot 2^{-\frac{t}{30,1}} \Rightarrow 2^{-\frac{t}{30,1}} = \frac{1500}{2100}$$

$$-\frac{t}{30,1} \cdot \ln 2 = \ln\left(\frac{1500}{2100}\right)$$

$$t = -30,1 \cdot \frac{\ln\left(\frac{1500}{2100}\right)}{\ln 2} \text{ år} = 15 \text{ år}$$

Svar: a) 2100 Bq b) 4,5 % c) 15 år

1129-1131. Se lärobokens facit.

$$1132. \text{ a) } A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Vi anger tiden i minuter. Vid ett tillfälle (kl 8:45) är aktiviteten 3476 kBq och 160 minuter senare (kl 11:25) är aktiviteten 2493 kBq.

$$2493 = 3476 \cdot 2^{-\frac{160}{T_{1/2}}}$$

$$2^{-\frac{160}{T_{1/2}}} = \frac{2493}{3476} \Rightarrow \ln 2^{-\frac{160}{T_{1/2}}} = \ln\left(\frac{2493}{3476}\right)$$

$$-\frac{160}{T_{1/2}} \cdot \ln 2 = \ln\left(\frac{2493}{3476}\right) \Rightarrow \frac{160}{T_{1/2}} = -\frac{\ln\left(\frac{2493}{3476}\right)}{\ln 2}$$

$$\frac{T_{1/2}}{160} = -\frac{\ln 2}{\ln\left(\frac{2493}{3476}\right)}$$

$$T_{1/2} = -160 \cdot \frac{\ln 2}{\ln\left(\frac{2493}{3476}\right)} \text{ min} = 333 \text{ min} = 5 \text{ h } 33 \text{ min}$$

$$\text{b) } 1800 = 3476 \cdot 2^{-\frac{t}{333}}$$

$$2^{-\frac{t}{333}} = \frac{1800}{3476} \Rightarrow \ln 2^{-\frac{t}{333}} = \ln\left(\frac{1800}{3476}\right)$$

$$-\frac{t}{333} \cdot \ln 2 = \ln\left(\frac{1800}{3476}\right) \Rightarrow \frac{t}{333} = -\frac{\ln\left(\frac{1800}{3476}\right)}{\ln 2}$$

$$t = -333 \cdot \frac{\ln\left(\frac{1800}{3476}\right)}{\ln 2} \text{ min} = 316 \text{ min} = 5 \text{ h } 16 \text{ min}$$

c) Sönderfallskonstanten beräknas:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{333 \cdot 60} \text{ s}^{-1} = 3,47 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

Aktiviteten $A_0 = \lambda \cdot N_0$

Antalet atomer från början:

$$N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{3476 \cdot 10^3}{3,47 \cdot 10^{-5}} = 1,00 \cdot 10^{11}$$

Sönderfallslagen kan nu användas för att beräkna hur många atomer som återstår efter 5,00 h.

$$N = 1,00 \cdot 10^{11} \cdot 2^{-\frac{300}{333}} = 5,4 \cdot 10^{10}$$

Antalet atomer som sönderfallit måste då vara

$$1,00 \cdot 10^{11} - 5,4 \cdot 10^{10} = 4,7 \cdot 10^{10} \text{ st}$$

Svar: a) 5 h 33 min (20000 s) b) 5 h 16 min (19000 s)
c) 47 miljarder kärnor har sönderfallit.

1133. Låt halten kalium-40 i klippan vara K . Halten argon-40 är då $A = 0,05 \cdot K$.

Halten kalium-40 i klippan från start är K_0 .

$$K_{\text{sönderfallit}} = K_0 - K$$

Av det som sönderfallit har 10,9 % blivit argon.

$$A = K_{\text{sönderfallit}} \cdot 0,109 = (K_0 - K) \cdot 0,109$$

$$\text{Vi får då: } (K_0 - K) \cdot 0,109 = 0,05 \cdot K$$

$$0,109K_0 - 0,109K = 0,05 \cdot K$$

$$0,109K_0 = 0,159 \cdot K$$

$$K_0 = \frac{0,159}{0,109} K = 1,459 K$$

Halten kalium avtar exponentiellt.

$$K = K_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow K = 1,459 K_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Kalium-40 har halveringstiden $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$ år.

Vi räknar tiden i miljarder år.

$$1 = 1,459 \cdot 2^{-\frac{t}{1,3}} \Rightarrow 2^{-\frac{t}{1,3}} = \frac{1}{1,459}$$

$$\ln 2^{-\frac{t}{1,3}} = \ln\left(\frac{1}{1,459}\right) \Rightarrow \frac{t}{1,3} = -\frac{\ln\left(\frac{1}{1,459}\right)}{\ln 2}$$

$$t = -1,3 \cdot \frac{\ln\left(\frac{1}{1,459}\right)}{\ln 2} = 0,7$$

Klippan är 0,7 miljarder år = 700 miljoner år gammal.

Svar: 700 miljoner år

1134-1139. Se lärobokens facit.

1140. En elektron har laddningen $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

10^{12} elektroner har den sammanlagda laddningen

$$10^{12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ C.}$$

Om denna laddning når anoden varje sekund så är

$$\text{strömstyrkan} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ A} = 160 \text{ nA.}$$

Svar: 160 nA

1141-1143. Se lärobokens facit.

1144. Energin är $E_k = \frac{mv^2}{2}$. Det framgår av detta uttryck att

om hastigheten fördubblas så blir energin 4 gånger så stor. α -partikeln har då energi nog för att tränga in 4 gånger längre i materialet, dvs. $4 \cdot 2,4 \text{ mm} = 9,6 \text{ mm}$.

Svar: 9,6 mm

1145. a) Intensiteten I mätt i antal sönderfall/s beror på

$$\text{blytjockleken } x \text{ enligt uttrycket } I = I_0 \cdot e^{-\mu x}.$$

Vi dividerar antalet sönderfall på 30 s med 30 och får på så sätt antalet sönderfall/s. Vi ritar sedan ett diagram över detta. För diagram: se lärobokens facit.

b) Från diagrammet (eller direkt från tabellen) kan man se att aktiviteten minskar till hälften vid en blytjocklek av ca 1,2 mm. Sedan bestämmer man μ genom sambandet

$$\mu = \frac{\ln 2}{x_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1,2} \text{ mm}^{-1} = 0,58 \text{ mm}^{-1}$$

Bäst är att mata in tabellvärdena i räknaren och be denna att anpassa dessa värden till en exponentialfunktion. Man kan då direkt få värdet 0,58 för μ .

c) Om 99,9 % ska absorberas så ska endast 0,1 % = 0,001 kunna passera.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$$0,001 = 1 \cdot e^{-0,58x} \Rightarrow -0,58x = \ln 0,001$$

$$x = \frac{\ln 0,001}{-0,58} \text{ mm} = 11,9 \text{ mm}$$

Svar: a) se lärobokens facit b) $0,58 \text{ mm}^{-1}$ c) 12 mm

1146. a) $E = m \cdot D = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 78 \text{ Gy} = 0,27 \text{ J}$

b) Se lärobokens facit

Svar: a) 0,27 J b) =

1147. Första upplagan, 1:a-5:e tryckningen

a) Röntgenstrålning är fotoner.

Kvalitetsfaktorn är $Q = 1$. Den ekvivalenta dosen

$$H = D \cdot Q = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \text{ Sv} = 3 \text{ mSv}$$

b) Viktfaktorn w_T för bröst är 0,05.

Den effektiva stråldosen är

$$E = H \cdot w_T = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \text{ Sv} = 0,15 \text{ mSv}$$

$$\text{c) } 0,05 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 7,5 \cdot 10^{-6} = 0,00075 \%$$

Svar: a) 3 mSv b) 0,15 mSv c) 0,00075 %

1147. Första upplagan, fr.o.m. 6:e tryckningen

a) Röntgenstrålning är fotoner.

Kvalitetsfaktorn är $Q = 1$. Den ekvivalenta dosen

$$H = D \cdot Q = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \text{ Sv} = 3 \text{ mSv}$$

b) Viktfaktorn w_T för bröst är 0,12.

Den effektiva stråldosen är

$$E = H \cdot w_T = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,12 \text{ Sv} = 0,36 \text{ mSv}$$

$$\text{c) } 0,05 \cdot 0,36 \cdot 10^{-3} = 1,8 \cdot 10^{-5} = 0,0018 \%$$

Svar: a) 3 mSv b) 0,15 mSv c) 0,0018 %

1148. *Första upplagan, 1:a-5:e tryckningen*
Röd benmärg: 0,12, könskörtlar: 0,20, hud: 0,01.
Summan av dessa är $0,12 + 0,20 + 0,01 = 0,33 = 33\%$.
Svar: 33 %
1148. *Första upplagan, fr.o.m. 6:e tryckningen*
Röd benmärg: 0,12, könskörtlar: 0,08, hud: 0,01.
Summan av dessa är $0,12 + 0,08 + 0,01 = 0,21 = 21\%$.
Svar: 21 %
1149. a) α -strålning är farligast. Den har en kvalitetsfaktor på 20. De båda andra strålslagen har en kvalitetsfaktor på 1.
b) Om strålkällan är extern är inte α - och β -strålning så farliga. De tränger inte långt in i kroppen. α -strålning stoppas redan av huden. γ -strålningen tränger däremot genom kroppen och kan orsaka skada där.
Svar: a) α b) γ
1150. *Första upplagan, 1:a-5:e tryckningen*
Den ekvivalenta dosen (i mSv) får vi om vi multiplicerar de absorberade doserna med 20, som är kvalitetsfaktorn för α -strålning.
För att sedan få de effektiva doserna (i mSv) multiplicerar vi de ekvivalenta doserna med 0,05 för lever, urinblåsa, bröst och sköldkörtel.
De effektiva doserna till lungor och röd benmärg multipliceras med 0,12 och de effektiva doserna till äggstockar multipliceras med 0,20.
Varje kolumn adderas sedan till en summa.
Ifyllt tabell: se lärobokens facit.
1150. *Första upplagan, fr.o.m. 6:e tryckningen*
Den ekvivalenta dosen (i mSv) får vi om vi multiplicerar de absorberade doserna med 20, som är kvalitetsfaktorn för α -strålning.
För att sedan få de effektiva doserna (i mSv) multiplicerar vi de ekvivalenta doserna med 0,04 för lever, urinblåsa och sköldkörtel.
De effektiva doserna till lungor, bröst och röd benmärg multipliceras med 0,12 och de effektiva doserna till äggstockar multipliceras med 0,08.
Varje kolumn adderas sedan till en summa.
Ifyllt tabell: se lärobokens facit.
1151. Se lärobokens facit.
1152. a) Den genomsnittliga stråldosen för en svensk är 2,4 mSv/år. 4 tandröntgenbilder ger $4 \cdot 5 \mu\text{Sv} = 20 \mu\text{Sv}$.
Det utgör $\frac{20 \cdot 10^{-6}}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 0,008 = 0,8\%$ av en årsdos.
b) 5 % av 20 μSv är $0,05 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 1 \cdot 10^{-6} = 0,0001\%$ per år.
Efter 70 års tandläkarbesök med fyra årliga tandröntgen ökar risken med $70 \cdot 0,0001\% = 0,007\%$.
Svar: a) 0,8 % b) 0,0001 % per år
1153. *Första upplagan, 1:a-5:e tryckningen*
a) Protonstrålning har kvalitetsfaktorn 5.
Den ekvivalenta stråldosen för könskörtlarna är $H = D \cdot Q = 1,2 \cdot 5 \mu\text{Sv} = 6 \mu\text{Sv}$ och för urinblåsan $H = D \cdot Q = 0,3 \cdot 5 \mu\text{Sv} = 1,5 \mu\text{Sv}$.
Summan av dessa är 7,5 μSv .
b) För könskörtlarna är viktfaaktorn 0,20 och för urinblåsan är viktfaaktorn 0,05.
Den effektiva stråldosen är $E = (6 \cdot 0,20 + 1,5 \cdot 0,05) \mu\text{Sv} = 1,275 \mu\text{Sv}$
Svar: a) 7,5 μSv b) 1,3 μSv
1153. *Första upplagan, fr.o.m. 6:e tryckningen*
a) Protonstrålning har kvalitetsfaktorn 5.
Den ekvivalenta stråldosen för könskörtlarna är $H = D \cdot Q = 1,2 \cdot 5 \mu\text{Sv} = 6 \mu\text{Sv}$ och för urinblåsan $H = D \cdot Q = 0,3 \cdot 5 \mu\text{Sv} = 1,5 \mu\text{Sv}$.
Summan av dessa är 7,5 μSv .
b) För könskörtlarna är viktfaaktorn 0,08 och för urinblåsan är viktfaaktorn 0,04.
Den effektiva stråldosen är $E = (6 \cdot 0,08 + 1,5 \cdot 0,04) \mu\text{Sv} = 0,54 \mu\text{Sv}$
Svar: a) 7,5 mSv b) 0,54 mSv

1154. a) $2,4 \text{ MeV} = 2,4 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,8 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
 13 miljarder protoner har energin
 $E = 13 \cdot 10^9 \cdot 3,8 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 0,005 \text{ J}$
 Låt oss anta att överkroppen väger 30 kg.
 Den absorberade dosen är då ca

$$D = \frac{E}{m} = \frac{0,005}{30} \text{ Gy} = 0,17 \text{ mGy}$$

- b) Protonstrålning har kvalitetsfaktorn 5.
 Den ekvivalenta stråldosen är ca
 $H = D \cdot Q = 0,17 \cdot 5 \text{ mSv} = 0,8 \text{ mSv}$
 c) Vi vet inte vilka organ som har bestrålats men vi räknar med en viktsfaktor på 0,5 motsvarande hälften av en helkroppsbestålning.
 $E = H \cdot w = 0,8 \cdot 0,5 \text{ mSv} = 0,4 \text{ mSv}$
 d) Se lärobokens facit.

Svar: a) ca 0,17 mGy b) ca 0,8 mSv c) ca 0,4 mSv d) –

- 1155-1156. Se lärobokens facit.

1157. a) Se lärobokens facit.
 b) Polonium är grundämne nr 84.
 Grundämne nr 82 är bly.
 α -sönderfallet sker enligt formeln
 ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He} + \text{energi}$
 Elektronerna är lika många före och efter sönderfallet så de behöver inte räknas med vid energiberäkningen.
 $\Delta m = m_{\text{Po-210}} - m_{\text{Pb-206}} - m_{\text{He-4}} =$
 $= (209,982874 - 205,974465 - 4,002603) \text{ u} =$
 $= 0,005806 \text{ u} = 0,005806 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 5,4 \text{ MeV}$
 c) Se lärobokens facit.
 d) Svar C) 5 Sv. Dosen var dödlig, så det var en stor dos på ett antal Sv. 500 Sv, 5 kSv och 5 MSv är orimligt stora.
 e) Om stråldosen är $H = 5 \text{ Sv}$ så är den absorberade

$$\text{dosen } D = \frac{H}{Q} = \frac{5}{20} \text{ Gy} = 0,25 \text{ Gy} .$$

Strålningens energi $E = D \cdot m = 0,25 \cdot 70 \text{ J} = 17,5 \text{ J}$, där vi har antagit att Litvinenko vägde 70 kg.

I varje sönderfall frigörs energin

$$E = 5,4 \text{ MeV} = 5,4 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 8,64 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\text{Antalet sönderfall är } \frac{17,5}{8,64 \cdot 10^{-13}} = 2,0 \cdot 10^{13} \text{ st.}$$

Halveringstiden för Po-210 är 138 dygn, vilket är så lång tid att vi kan anta att aktiviteten har varit relativt konstant under de ca två dygn som Litvinenko levde.

Antalet sönderfall per sekund är

$$\frac{2,0 \cdot 10^{13}}{2 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,2 \cdot 10^8 \text{ Bq}$$

Aktiviteten

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

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{2,0 \cdot 10^{13} \cdot 138 \cdot 24 \cdot 3600}{\ln 2} \text{ st} = 2 \cdot 10^{15} \text{ st}$$

$$m({}^{210}\text{Po}) = 209,982874 \text{ u} =$$

$$= 209,982874 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} =$$

$$= 209,982874 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,5 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$2 \cdot 10^{15} \text{ st atomer har massan}$$

$$2 \cdot 10^{15} \cdot 3,5 \cdot 10^{-25} \text{ kg} = 7 \cdot 10^{-10} \text{ kg} = 0,7 \mu\text{g}$$

Svar: a) – b) 5,4 MeV c) – d) A: 5 mSv e) 0,7 μg

- 1158-1161. Se lärobokens facit.

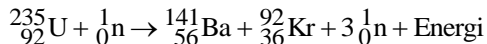
e 1162. a) Masstalet måste vara oförändrat.

1 U-235 + 1 neutron har tillsammans masstalet 236.

$$235 + 1 - 141 - 92 = 3$$

Det frigörs 3 st neutroner.

b) Reaktionsformeln är



Elektronerna är lika många före och efter sönderfallet så de behöver inte räknas med vid energiberäkningen.

$$\Delta m = m_{\text{U-235}} + m_{\text{n}} - m_{\text{Ba-141}} - m_{\text{Kr-92}} - 3 \cdot m_{\text{n}} =$$

$$= (235,043930 + 1,008665 - 140,914411 -$$

$$- 91,926156 - 3 \cdot 1,008665) \text{ u} = 0,186033 \text{ u} =$$

$$= 0,186033 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 173 \text{ MeV}$$

$$\text{c) } 173 \text{ MeV} = 173 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,8 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

3,8 GW innebär 3,8 GJ/s.

$$\text{Antalet U-235 är } \frac{3,8 \cdot 10^9}{2,8 \cdot 10^{-11}} \text{ st} = 1,4 \cdot 10^{20} \text{ st}$$

$$\text{d) } m({}^{235}\text{U}) = 235,043930 \text{ u}$$

Massan för $1,4 \cdot 10^{20}$ st uranatomer är

$$1,4 \cdot 10^{20} \cdot 235,043930 \text{ u} = 3,2 \cdot 10^{22} \text{ u} =$$

$$= 3,2 \cdot 10^{22} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ kg} = 54 \text{ mg}$$

e) 1 kg olja som förbränns varje sekund ger effekten

42 MW. För att ge effekten 3,8 GW krävs att man

$$\text{förbränner } \frac{3,8 \cdot 10^9}{42 \cdot 10^6} \text{ kg} = 90 \text{ kg olja}$$

Svar: a) 3 b) 173 MeV c) $1,4 \cdot 10^{20}$ st d) 54 mg

e) 90 kg

1163-1164. Se lärobokens facit.

1165. a) Tabellen på sid. 432 ger att aktiviteten efter 100000 år

är 2300 GBq/ton. 5 ton kärnbränsle har då aktiviteten

$$5 \cdot 2300 \text{ GBq} = 11500 \text{ GBq}$$

b) 5 % av denna aktivitet är

$$0,05 \cdot 11500 \text{ GBq} = 575 \text{ GBq} = 5,75 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$$

Under 1 minut sker

$$5,75 \cdot 10^{11} \cdot 60 = 3,45 \cdot 10^{13} \text{ sönderfall}$$

I vart och ett av dessa sönderfall frigörs energin 1 MeV.

Totalt träffas personen av energin

$$E = 3,45 \cdot 10^{13} \text{ MeV} = 3,45 \cdot 10^{13} \cdot 10^6 \text{ eV} =$$

$$= 3,45 \cdot 10^{13} \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5,52 \text{ J}$$

Anta att personen väger 75 kg.

Han träffas då av stråldosen

$$D = \frac{E}{m} = \frac{5,52}{75} \text{ Gy} = 0,07 \text{ Gy} = 70 \text{ mGy}$$

Detta motsvarar för gammastrålning en ekvivalent dos av 70 mSv

c) Enligt tabellen på sid 233 innehåller 1 ton utbränt

kärnbränsle 945 kg U-238. Halten är således 0,945.

Halveringstiden är $4,468 \cdot 10^9$ år.

Hur många halveringstider krävs för att halten ska

minska till 12 % = 0,12.

Vi löser ekvationen $0,12 = 0,945 \cdot 2^{-\frac{t}{4,468}}$ och mäter tiden i miljarder år.

$$2^{-\frac{t}{4,468}} = \frac{0,12}{0,945} \Rightarrow -\frac{t}{4,468} \cdot \ln 2 = \ln \frac{0,12}{0,945}$$

$$t = -\frac{t}{4,468} \cdot \ln 2 = -\frac{4,468}{\ln 2} \cdot \ln \frac{0,12}{0,945} = 13,3$$

Det tar alltså 14 miljarder år innan halten är så låg. (Då har solen slocknat sedan länge.)

d) 12 %-ig uranmalm har 6 gånger högre aktivitet än 2 %-ig.

Aktiviteten bör då vara $6 \cdot 3,5 \text{ GBq/ton} = 21 \text{ GBq/ton}$.

e) Aktiviteten är direkt proportionell mot mängden.

Enligt svaret i c) ovan dröjer det 14 miljarder år innan uranhalten i utbränt kärnbränsle har minskat till samma nivå som i Cigar Lake-gruvan. Utbränt kärnbränsle består till största delen av U-238. Vi kan alltså räkna med att det dröjer 14 miljarder år innan aktiviteten hos utbränt kärnbränsle har sjunkit till samma nivå som uranet i denna gruva.

f) Tabellen på sid 432 anger att efter 40 år är aktiviteten

$$7 \cdot 10^6 \text{ GBq/ton} = 7 \cdot 10^{15} \text{ Bq/ton}$$

I 5 ton kärnbränsle är aktiviteten

$$5 \cdot 7 \cdot 10^{15} \text{ Bq} = 3,5 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$$

Vid varje sönderfall frigörs 1 MeV, dvs. totalt frigörs

$$\text{energin } E = 3,5 \cdot 10^{16} \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5600 \text{ J varje}$$

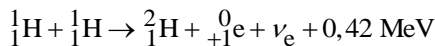
sekund, vilket innebär en effekt av ca 6000 W

Svar: a) 12 TBq b) 70 mSv c) 14 miljarder år

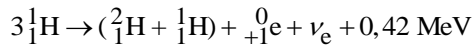
d) 21 GBq e) 14 miljarder år f) 6000 W

1166-1168. Se lärobokens facit.

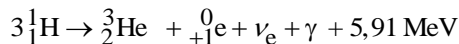
1169. Den första reaktionen är



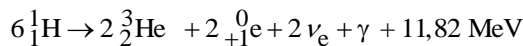
Eftersom ${}^2_1\text{H}$ sedan slås ihop med en ${}^1_1\text{H}$ adderar vi en sådan på varje sida:



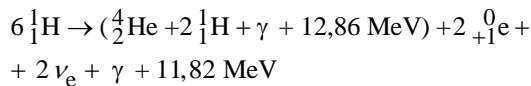
som kan förenklas till



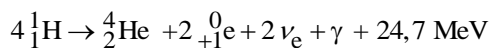
Om vi tänker oss att två sådana reaktioner sker får vi



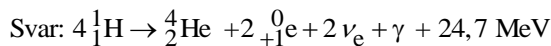
De två heliumkärnorna på högersidan slås samman till He-4 enligt sönderfallet som framgår på sid. 435.



som kan förenklas till



Dessutom frigörs 2,0 MeV när de två positronerna annihileras.



1170. a) Enligt svaret till uppgift 1169 frigörs totalt $(24,7 + 2,0) \text{ MeV} = 26,7 \text{ MeV}$ när 4 st protoner slås samman.

$$26,7 \text{ MeV} = 26,7 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,27 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

För att ge energin $3,9 \cdot 10^{26} \text{ J}$ varje sekund måste

$$\frac{4 \cdot 3,9 \cdot 10^{26}}{4,27 \cdot 10^{-12}} = 3,7 \cdot 10^{38} \text{ st protoner slås samman.}$$

b) En proton har massan $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

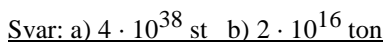
På 1 sekund slås $3,7 \cdot 10^{38}$ protoner samman. De väger

$$3,7 \cdot 10^{38} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 6,1 \cdot 10^{11} \text{ kg.}$$

På ett år blir det

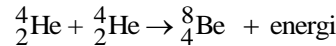
$$6,1 \cdot 10^{11} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ kg} = 1,9 \cdot 10^{19} \text{ kg} =$$

$$= 1,9 \cdot 10^{16} \text{ ton}$$



1171. Se lärobokens facit.

1172. a) I den första reaktionen sker



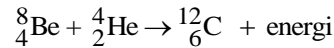
$$\Delta m = 2 \cdot m_{\text{He-4}} - m_{\text{Be-8}} =$$

$$= (2 \cdot 4,002603 - 8,005305) \text{ u} = -0,000099 \text{ u} =$$

$$= -0,000099 \cdot 931,5 \text{ MeV} = -0,092 \text{ MeV}$$

Att värdet är negativt innebär att det åtgår energi för att reaktionen ska äga rum.

Den andra reaktionen är

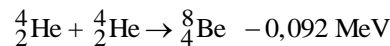


$$\Delta m = m_{\text{Be-8}} + m_{\text{He-4}} - m_{\text{C-12}} =$$

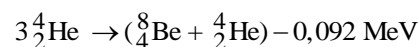
$$= (8,005305 + 4,002603 - 12) \text{ u} = 0,007908 \text{ u} =$$

$$= 0,007908 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 7,367 \text{ MeV}$$

b) Den första reaktionen var enligt ovan



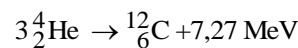
Vi adderar en heliumatom på båda sidorna och får



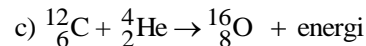
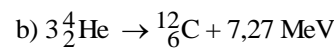
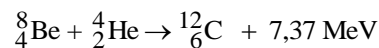
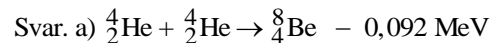
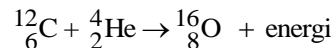
Beryllium och helium slås samman enligt ovan



vilket kan sammanfattas till



c) Reaktionsformeln blir



1173-1178. Se lärobokens facit.

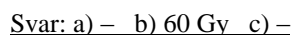
1179. a) Se lärobokens facit.

b) 3 Gy/minut innebär 2 Gy under 40 sekunder.

2 Gy under 5 dagar i 6 veckor ger totalt

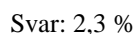
$$2 \cdot 5 \cdot 6 \text{ Gy} = 60 \text{ Gy}$$

c) a) Se lärobokens facit.



1180. F-18 har en halveringstid av 1,83 h.

$$\text{Efter 10 h återstår } 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 2^{-\frac{10}{1,83}} = 0,023 = 2,3 \% \text{ av den ursprungliga aktiviteten.}$$



1181. Se lärobokens facit.

1182. a) Sönderfallet skedde i en punkt på avståndet x från den punkt där den första fotonen detekterades. Den andra fotonen detekterades i en punkt på avståndet $(1,1 - x)$ från den punkt där sönderfallet skedde. Fotonernas rör sig med ljusets hastighet c .

Tiden för den första fotonen är $\frac{x}{c}$ och för den andra

$\frac{1,1 - x}{c}$. Vi har att skillnaden i tid är

$$\frac{1,1 - x}{c} - \frac{x}{c} = 0,15 \cdot 10^{-9}$$

$$(1,1 - x) - x = 0,15 \cdot 10^{-9} \cdot c$$

$$1,1 - 2x = 0,15 \cdot 10^{-9} \cdot 3,0 \cdot 10^8$$

$$2x = 1,1 - 0,15 \cdot 10^{-9} \cdot 3,0 \cdot 10^8 = 1,055$$

$$x = 0,53 \text{ m}$$

Sönderfallet skedde 0,53 m från den punkt på detektorn där den första fotonen registrerades.

$$b) \Delta s = c \cdot \Delta t = 3 \cdot 10^8 \cdot 0,05 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,015 \text{ m}$$

Svar: a) Sönderfallet skedde 0,53 m från den punkt på detektorn där den första fotonen registrerades. b) 0,015 m

1183. Vi räknar med att tumören är klotformig med radien 1,1 cm och att den har samma densitet som vatten, 1000 kg/m^3 . Volymen är

$$V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi \cdot 0,011^3}{3} \text{ m}^3 = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Den väger

$$m = \rho \cdot V = 1000 \cdot 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 0,0056 \text{ kg}$$

$$\text{Energi } E = D \cdot m = 60 \cdot 0,0056 \text{ J} = 0,3 \text{ J}$$

Svar: 0,3 J

1184. a) Halveringstiden för Co-60 är så pass lång att vi kan räkna med att aktiviteten är konstant 1,2 TBq. Antalet sönderfall totalt är

$$206 \cdot 1,2 \cdot 10^{12} \cdot 42 \cdot 60 = 6,2 \cdot 10^{17}$$

Den totala energin är

$$E = 6,2 \cdot 10^{17} \cdot 1,17 \text{ MeV} = 7,3 \cdot 10^{17} \text{ MeV} =$$

$$= 7,3 \cdot 10^{17} \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 120 \text{ kJ}$$

$$b) E = D \cdot m = 84 \cdot 0,008 \text{ J} = 0,67 \text{ J}$$

$$c) \frac{0,67}{120 \cdot 10^3} = 5,6 \cdot 10^{-6} = 0,0006 \%$$

d) Se lärobokens facit.

Svar: a) 120 kJ b) 0,67 J c) 0,0006 % d) –

1185. a) Fosfor (P) är nr 15 i det periodiska systemet. Den har 15 protoner. P-32 har $32 - 15 = 17$ neutroner.
b) $17 > 15$. Den har ett överskott av neutroner.
c) P-32 är en β^- -strålnare. Grundämne nr 16 är svavel (S). Sönderfallsformeln är
$${}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{S} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e + \text{energi}$$

d) Halveringstiden för P-32 är 14,3 dygn. Om aktiviteten har minskat till $\frac{1}{4}$ har det gått 2 halveringstider, dvs. $2 \cdot 14,3$ dygn = 29 dygn.

Svar: a) 15 protoner och 17 neutroner b) Den har ett överskott av neutroner

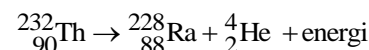
$$c) {}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{S} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e + \text{energi} \quad d) 29 \text{ dygn}$$

$$1186. 24 \text{ h} = \frac{24}{6,0} = 4 \text{ halveringstider}$$

Efter 24 h återstår alltså endast $0,5^4 = 0,0625 = 6,3 \%$ av den ursprungliga aktiviteten.

Svar: 6,3 %

1187. a) Torium (Th) har atomnummer 90. Radium (Ra) har atomnummer 88. Sönderfallsformeln är



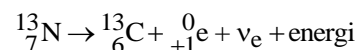
b) Elektronerna är lika många före och efter sönderfallet så de behöver inte räknas med vid energiberäkningen.

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_{\text{Th-232}} - m_{\text{Ra-228}} - m_{\text{He-4}} = \\ &= (232,038055 - 228,031070 - 4,002603) \text{ u} = \\ &= 0,004382 \text{ u} = 0,004382 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 4,1 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$\text{Svar: a) } {}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{228}\text{Ra} + {}_2^4\text{He} + \text{energi} \quad b) 4,1 \text{ MeV}$$

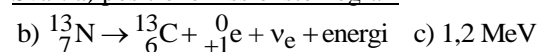
1188. a) PET betyder positronemissionstomografi.

b) Kväve (N) har atomnummer 7. N-13 är en β^+ -strålnare (avger positroner). Kol (C) har atomnummer 6. Sönderfallsformeln är



$$\begin{aligned} b) \Delta m &= (m_{\text{N-13}} - 7m_e) - (m_{\text{C-13}} - 6m_e) - m_e = \\ &= m_{\text{N-13}} - m_{\text{C-13}} - 2m_e = \\ &= (13,005739 - 13,003355 - 2 \cdot 0,000549) \text{ u} = 0,001286 \text{ u} \\ E &= 0,001286 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 1,2 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Svar: a) positronemissionstomografi



1189. a) Nej, den är inte särskilt farlig. Den motsvarar ungefär en extra årsdos jämfört med en ickerökare.
 b) $2,5 \cdot 40 \text{ mSv} = 100 \text{ mSv}$
 c) Risken ökar med 5 % av $0,100 \text{ Sv} = 0,5 \%$
 d) International Commission of Radioprotective Protection

Svar: a) se ovan b) 100 mSv c) 0,5 % d) se ovan

1190. Djurart A står högre upp i näringskedjan än djurart B. Se sid 390 i läroboken.

1191. Se lärobokens facit.

1192. Om plattan absorberar 12 % så kommer 88 % att passerar igenom plattan.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$$0,88 = e^{-\mu \cdot 5} \Rightarrow 5\mu = -\ln 0,88$$

$$\mu = -\frac{\ln 0,88}{5} = 0,026 \text{ mm}^{-1} = 26 \text{ m}^{-1}$$

Svar: 26 m⁻¹

1193. Aktiviteten har minskat från 3,0 MBq till 2,0 MBq på

$$10 \text{ minuter. Aktiviteten har alltså avtagit till } \frac{2,0}{3,0} = 0,67$$

av vad den var. På ytterligare 10 minuter avtar aktiviteten med lika stor andel, dvs. till

$$0,67 \cdot 2,0 \text{ MBq} = 1,3 \text{ MBq}$$

- b) Vi beräknar hur många 10 minutersperioder x som krävs innan aktiviteten har nedgått till en tusendel.

$$\text{Vi löser ekvationen } 0,67^x = 0,001$$

Om man inte kan lösa denna ekvation exakt kan man pröva sig fram med räknarens hjälp.

$$\text{Exakt lösning är } x = \frac{\ln 0,001}{\ln 0,67} = 17$$

$$17 \text{ 10 minutersperioder är } 17 \cdot 10 \text{ min} = 170 \text{ min}$$

Svar: a) 1,3 MBq b) 170 minuter

1194. Se lärobokens facit.

1195. a) Tumören väger $2,2 \text{ g} = 0,0022 \text{ kg}$.

$$\text{Energi } E = D \cdot m = 50 \cdot 0,0022 \text{ J} = 0,11 \text{ J}$$

- b) Fotonens energi är

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{0,15 \cdot 10^{-9}} \text{ J} = 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Energien 0,11 J motsvarar då

$$\frac{0,11}{1,3 \cdot 10^{-15}} = 8,3 \cdot 10^{13} \text{ st fotoner.}$$

Svar: a) 0,11 J b) $8,3 \cdot 10^{13}$ st

1196. Man bör lämpligen mata in de olika energierna som x -värden och motsvarande räckvidder som y -värden i listor i miniräknaren. Denna kan sedan anpassa dessa värden efter någon lämplig funktion. Man bör välja en funktion sådan att $y = 0$ då $x = 0$. Man kan då till exempel välja en potensfunktion. Räknaren kommer då att anpassa mätdata till funktionen $y = 0,564 \cdot x^{0,932}$.

Svar: Man kan t.ex. välja funktionen $y = 0,564 \cdot x^{0,932}$

- 1197-1199. Se lärobokens facit.

11100. Tabellen på sid 413 visar att den linjära absorptionskoefficienten μ är $0,58 \text{ mm}^{-1}$ för bly vid energier av 250 keV. Om 90% ska absorberas så kommer 10% att passera genom blyplattan.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad 0,10 = e^{-0,58x}$$

$$-0,58x = \ln 0,10 \Rightarrow x = -\frac{\ln 0,10}{0,58} \text{ mm} = 4,0 \text{ mm}$$

Svar: 4 mm

- 11101-11102. Se lärobokens facit.

11103. a) $T_{1/2} = 30,1 \text{ år} = 30,1 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 9,5 \cdot 10^8 \text{ s}$
Sönderfallskonstanten

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{9,5 \cdot 10^8} \text{ s}^{-1} = 7,3 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

Aktiviteten

$$A = \lambda \cdot N \Rightarrow N = \frac{A}{\lambda} = \frac{70 \cdot 10^{12}}{7,3 \cdot 10^{-10}} \text{ st} = 9,6 \cdot 10^{22} \text{ st}$$

Massan för en Cs-137 är

$$136,9 \text{ u} = 136,9 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 2,3 \cdot 10^{-25} \text{ kg.}$$

$$9,6 \cdot 10^{22} \text{ st väger } 9,6 \cdot 10^{22} \cdot 2,3 \cdot 10^{-25} \text{ kg} =$$

$$= 0,022 \text{ kg} = 22 \text{ g}$$

b) Vi anger nu tiden i år och kan beskriva sönderfallet

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad 50 = 70 \cdot 2^{-\frac{t}{30,1}}$$

$$2^{-\frac{t}{30,1}} = \frac{50}{70} \Rightarrow \frac{t}{30,1} \cdot \ln 2 = -\ln \frac{50}{70}$$

$$t = -\frac{30,1 \cdot \ln \frac{50}{70}}{\ln 2} \text{ år} = 14,6 \text{ år}$$

Svar: a) 22 g b) 14,6 år

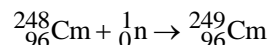
11104. Cm (curium) har atomnummer 96 och Cf (californium)

har atomnummer 98. Vid varje β^- -sönderfall ökar

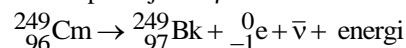
laddningen med 1. Det har alltså skett 2 st β^- -sönderfall.

Masstalet har ökat från 248 till 252. Vid varje neutroninfångning ökar masstalet med 1. Det har alltså skett 4 st neutroninfångningar.

b) Neutroninfångningen kan skrivas

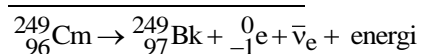
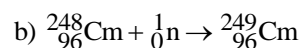


Det därpå följande β^- -sönderfallet kan skrivas



Berkelium (Bk) har atomnummer 97.

Svar: a) 4 neutroninfångningar och 2 β^- -sönderfall



11105. Se lärobokens facit.

11106. a) Kol (C) har atomnummer 6, natrium (Na) har atomnummer 11 och uran (U) har atomnummer 92.

C-14 har 6 protoner, 6 elektroner och

$(14 - 6) = 8$ neutroner

Na-25 har 11 protoner, 1 elektroner och

$(25 - 11) = 14$ neutroner

U-235 har 92 protoner, 92 elektroner och

$(235 - 92) = 143$ neutroner

b) $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Nuklidmassorna får vi från en tabellsamling.

$$m_{\text{C-14}} = 14,003242 \text{ u} = 14,003242 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} =$$

$$= 2,32 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m_{\text{Na-25}} = 24,989954 \text{ u} = 24,989954 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} =$$

$$= 4,15 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m_{\text{U-235}} = 235,043930 \text{ u} = 235,043930 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} =$$

$$= 3,90 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

c) Massan av 1 proton och 1 elektron kan vi få direkt genom att välja massan av H-1. Vi bortser då från den lilla bindningsenergin mellan protonen och elektronen.

$$m_{\text{n}} = 1,008665 \text{ u}, m_{\text{H-1}} = 1,007825 \text{ u}$$

Delarna i C-14 väger

$$(8 \cdot 1,008665 + 6 \cdot 1,007825) \text{ u} = 14,116270 \text{ u}$$

Delarna i Na-25 väger

$$(14 \cdot 1,008665 + 11 \cdot 1,007825) \text{ u} = 25,207385 \text{ u}$$

Delarna i U-235 väger

$$(143 \cdot 1,008665 + 92 \cdot 1,007825) \text{ u} = 236,958995 \text{ u}$$

Svar: a) C-14: 8n, 6p, 6e⁻ Na-25: 14n, 11p, 11e⁻

U-235: 143n, 92p, 92e⁻ b) $m_{\text{C-14}} = 14,003242 \text{ u} =$

$$= 2,32 \cdot 10^{-26} \text{ kg}, m_{\text{Na-25}} = 24,989954 \text{ u} =$$

$$= 4,15 \cdot 10^{-26} \text{ kg}, m_{\text{U-235}} = 235,043930 \text{ u} =$$

$$= 3,90 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

c) 14,116270 u, 25,207385 u, 236,958995 u

d) Det krävs energi för att ta isär en atom i dess olika beståndsdelar. Eftersom energi och massa är ekvivalenta enligt Einsteins formel, så väger delarna mer än helheten. Skillnaden kallas bindningsenergi.

11107-11110. Se lärobokens facit.

11111. Vi antar att halveringstiden är så lång så att aktiviteten har varit oförändrat 4,0 kBq under de 25 minuter som Maria har haft lösningen på handen. Totalt har det då skett $4,0 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 60 = 6,0 \cdot 10^6$ st sönderfall på denna tid. Vid varje sönderfall frigörs 3,5 MeV.

$$\begin{aligned} \text{Total energi är } E &= 3,5 \cdot 10^6 \cdot 6,0 \cdot 10^6 \text{ eV} = \\ &= 2,1 \cdot 10^{13} \text{ eV} = 2,1 \cdot 10^{13} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \\ &= 3,36 \cdot 10^{-6} \text{ J} \end{aligned}$$

Absorberad stråldos är

$$D = \frac{E}{m} = \frac{3,36 \cdot 10^{-6}}{0,100} \text{ Gy} = 3,36 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$$

Svar: 34 μ Gy

11112. Första upplagan, 1:a-5:e tryckningen

Viktfaktorn är 0,01 för benytter och hud och 0,05 för sköldkörteln.

Den effektiva stråldosen är

$$(0,01 \cdot 1,3 + 0,01 \cdot 1,7 + 0,05 \cdot 0,7) \text{ mSv} = 0,065 \text{ mSv}$$

Svar: 0,065 mSv

11112. Första upplagan, fr.o.m. 6:e tryckningen

Viktfaktorn är 0,01 för benytter och hud och 0,04 för sköldkörteln.

Den effektiva stråldosen är

$$(0,01 \cdot 1,3 + 0,01 \cdot 1,7 + 0,04 \cdot 0,7) \text{ mSv} = 0,058 \text{ mSv}$$

Svar: 0,058 mSv

11113. Ra-226 har halveringstiden

$$T_{1/2} = 1600 \text{ år} = 1600 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 5,0 \cdot 10^{10} \text{ s}$$

Sönderfallskonstanten

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5,0 \cdot 10^{10}} \text{ s}^{-1} = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ mol Ra-226 väger } 226 \text{ g. } 1 \text{ mol} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ st}$$

$$1 \text{ g Ra-226 innehåller } N = \frac{6,022 \cdot 10^{23}}{226} = 2,66 \cdot 10^{21} \text{ st}$$

atomer.

$$\begin{aligned} \text{Aktiviteten är } A &= \lambda \cdot N = 1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 2,66 \cdot 10^{21} \text{ Bq} = \\ &= 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq} = 1 \text{ Ci} \end{aligned}$$

Svar: 37 GBq

$$11114. \text{ a) Stråldosen } D = \frac{E}{m} \Rightarrow E = D \cdot m = 4 \cdot 1,5 \text{ J} = 6 \text{ J}$$

$$\text{b) } 0,6 \text{ MeV} = 0,6 \cdot 10^6 \text{ eV} = 0,6 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 9,6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$6 \text{ J är energin från } \frac{6}{9,6 \cdot 10^{-14}} = 6,2 \cdot 10^{13} \text{ st sönderfall.}$$

Svar: a) 6 J b) $6,2 \cdot 10^{13}$ sönderfall

11115. Neutroner med energin 1,2 MeV har en kvalitetsfaktor $Q = 20$. Den ekvivalenta dosen

$$H = D \cdot Q = 2,4 \cdot 20 \mu\text{Sv} = 48 \mu\text{Sv}$$

Svar: 48 μ Sv

11116. a) Vid tiden $t = 0$ är aktiviteten ca 570 Bq. Vi försöker avläsa när aktiviteten har minskat till hälften, dvs. 285 Bq. Vi ser att det sker efter ca 2,2 minuter. Vi kan göra ytterligare några avläsningar för att få detta bekräftat. Vi kan istället t.ex. se att aktiviteten har minskat till 115 Bq efter 5,0 minuter. Vi kan då lösa ekvationen

$$115 = 570 \cdot e^{-\lambda \cdot 5,0}$$

$$e^{-\lambda \cdot 5,0} = \frac{115}{570}$$

$$-\lambda \cdot 5,0 = \ln\left(\frac{115}{570}\right)$$

$$\lambda = -\frac{1}{5,0} \cdot \ln\left(\frac{115}{570}\right) \text{ min}^{-1} = 0,32 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{Halveringstiden } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{0,32} \text{ min} = 2,2 \text{ min}$$

b) Mätningen har skett under 10 minuter = 600 s. Antalet sönderfall har minskat från ca 570 Bq till ca 20 Bq under denna tid. Det totala antalet sönderfall kan vi bestämma genom att försöka uppskatta arean av området under grafen. Man kan fylla i grafen mellan punkterna och sedan räkna antalet rutor under grafen. Varje ruta representerar $100 \text{ Bq} \cdot 60 \text{ s} = 6000$ sönderfall. Antalet rutor kan uppskattas till ca 15. $15 \cdot 6000 = 90000$ sönderfall.

Svar: a) ca 2,2 min b) ca 10^5 sönderfall

11117. a) 3 månader = 90 dygn.

Efter denna tid har aktiviteten gått ned till

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{90}{74}} = 0,43 \cdot A_0$$

Aktiviteten har alltså minskat till 43 %.

För att ge lika stor mängd energi som när preparatet var nytt måste behandlingstiden öka med en faktor

$$\frac{1}{0,43} = 2,3. \text{ Behandlingstiden måste alltså vara } 130 \% \text{ längre.}$$

längre.

b) För att få samma stråldos måste behandlingstiden öka.

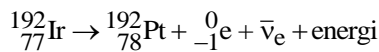
Aktiviteten har ju minskat.

c) 3 dygn = $3 \cdot 24 \text{ h} = 72 \text{ h}$

Den totala dosen är $2,0 \cdot 72 \text{ Gy} = 140 \text{ Gy}$

d) $E = D \cdot m = 144 \cdot 0,040 \text{ J} = 5,8 \text{ J}$

e) Iridium har atomnummer 77. Platina har atomnummer 78. Reaktionsformeln är



$$\begin{aligned} \Delta m &= (m_{\text{Ir-192}} - 77m_e) - (m_{\text{Pt-192}} - 78m_e) - m_e = \\ &= m_{\text{Ir-192}} - m_{\text{Pt-192}} = (191,962580 - 191,961019) \text{ u} = \\ &= 0,001561 \text{ u} = 0,001561 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 1,45 \text{ MeV} \end{aligned}$$

f) $1,45 \text{ MeV} = 1,45 \cdot 10^6 \text{ eV} = 1,45 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,3 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

Energien ska totalt vara 5,8 J under 3 dygn, vilket

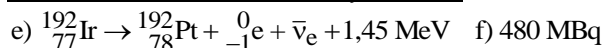
$$\text{innebär } \frac{5,8}{3 \cdot 24 \cdot 3600} \text{ J/s} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ J/s}$$

$$\text{motsvarar } \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{2,3 \cdot 10^{-13}} = 9,6 \cdot 10^7 \text{ sönderfall/s.}$$

Eftersom endast 20 % träffar tumören måste aktiviteten vara fem gånger större, dvs.

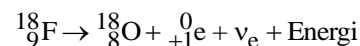
$$9,6 \cdot 10^7 \cdot 5 \text{ Bq} = 4,8 \cdot 10^8 \text{ Bq} = 480 \text{ MBq}$$

Svar: a) 130 % b) – c) 140 Gy d) 5,8 J



11118. a) Fluor har atomnummer 9. Syre har atomnummer 8.

Sönderfallsformeln är



$$\begin{aligned} \text{b) } \Delta m &= (m_{\text{F-18}} - 9m_e) - (m_{\text{O-18}} - 8m_e) - m_e = \\ &= m_{\text{F-18}} - m_{\text{O-18}} - 2m_e = \\ &= (18,000938 - 17,999161 - 2 \cdot 0,000549) \text{ u} = 0,000679 \text{ u} \end{aligned}$$

$$E = 0,000679 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 0,63 \text{ MeV}$$

c) Halveringstiden $T_{1/2}$ för F-18 är 1,83 h.

$$\text{Sönderfallskonstanten } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1,83} \text{ h}^{-1} = 0,379 \text{ h}^{-1}$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Efter 1 dygn = 24 h återstår endast

$$A = A_0 \cdot e^{-0,379 \cdot 24} = 0,00011 \cdot A_0$$

Efter 24 h återstår endast 0,011 %.

d) Aktiviteten $A = I \cdot N$

Sönderfallskonstanten

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1,83} \text{ h}^{-1} = \frac{\ln 2}{1,83} \cdot \frac{1}{3600} \text{ s}^{-1} = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Antalet } N = \frac{A}{\lambda} = \frac{1,2 \cdot 10^6}{1,05 \cdot 10^{-4}} = 1,1 \cdot 10^{10} \text{ st}$$

e) När alla dessa F-18 sönderfaller frigörs energin

$$E = 1,1 \cdot 10^{10} \cdot 0,63 \text{ MeV} = 7,2 \cdot 10^9 \text{ MeV} =$$

$$= 7,2 \cdot 10^9 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,00115 \text{ J}$$

Om denna energi absorberas av en massan 60 kg blir den

$$\text{absorberade dosen } D = \frac{E}{m} = \frac{0,0011}{60} \text{ Gy} = 0,02 \text{ mGy}$$

$$\text{Svar: a) } {}_{9}^{18}\text{F} \rightarrow {}_{8}^{18}\text{O} + {}_{+1}^0\text{e} + \nu_e + \text{Energi} \quad \text{b) } 0,63 \text{ MeV}$$

$$\text{c) } 0,011 \% \quad \text{d) } 1,1 \cdot 10^{10} \text{ st} \quad \text{e) } 0,02 \text{ mGy (1,15 mJ)}$$

11119. Se lärobokens facit.

11120. a) Se lärobokens facit.
 b) Sr-90 har halveringstiden $T_{1/2} = 29$ år.
 Sönderfallskonstanten

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{29} \text{ år}^{-1} = 0,024 \text{ år}^{-1}$$
 År 2011 är 31 år efter år 1980.
 Aktiviteten har då sjunkit till

$$A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 37 \cdot e^{-0,024 \cdot 31} = 37 \cdot 0,48 \text{ kBq} = 17,6 \text{ kBq}$$
 c) Strålningen från preparatet förväntas vara fördelad jämnt över en sfär med radien 7,0 cm. Arealen av denna sfär är $4\pi r^2 = 4\pi \cdot 7,0^2 \text{ cm}^2 = 616 \text{ cm}^2$.
 GM-rörets fönster tar upp en area av $\pi r^2 = \pi \cdot 0,6^2 \text{ cm}^2 = 1,13 \text{ cm}^2$. Vi kan alltså förvänta oss att endast andelen $\frac{1,13}{616} = 0,0018$ av strålningen träffar fönstret. $0,0018 \cdot 18 \text{ kBq} = 0,032 \text{ kBq} = 32 \text{ Bq}$
 d) Aktiviteten år 1980 var 37 kBq och 17,6 kBq år 2011.

$$A = \lambda \cdot N \Rightarrow N = \frac{A}{\lambda}$$
 Sönderfallskonstanten

$$\lambda = 0,024 \text{ år}^{-1} = \frac{0,024}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \text{ s}^{-1} = 7,6 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$
 Antalet kärnor år 1980 var

$$N_{1980} = \frac{37000}{7,6 \cdot 10^{-10}} = 4,9 \cdot 10^{13} \text{ st}$$
 Antalet kärnor år 2011 var

$$N_{2011} = \frac{17600}{7,6 \cdot 10^{-10}} = 2,3 \cdot 10^{13} \text{ st}$$
 Under tidsperioden 1980 – 2011 har $(4,9 \cdot 10^{13} - 2,3 \cdot 10^{13}) = 2,5 \cdot 10^{13}$ kärnor sönderfallit.
 e) Se lärobokens facit.
 f) 1134 sönderfall på 30 s motsvarar $\frac{1134}{30} = 37,8$ sönderfall per sekund, dvs. en aktivitet av 38 Bq
 g) Enligt tidigare har endast andelen 0,0018 av aktiviteten nått detektorn. $0,0018 \cdot A = 38$

$$A = \frac{38}{0,0018} \text{ Bq} = 21000 \text{ Bq} = 21 \text{ kBq}$$
 Svar: a) – b) 18 kBq c) 32 Bq d) $2,5 \cdot 10^{13}$ e) – f) 38 Bq g) 21 kBq

11121. a) Båda preparaten har långa halveringstider. Vi kan alltså betrakta aktiviteten som konstant under 2 dygn. För att beräkna antalet sönderfall kan vi således multiplicera aktiviteten med tiden mätt i sekunder.
 Am-241:

$$\Delta N = A \cdot \Delta t = 35000 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ st} = 6,0 \cdot 10^9 \text{ st}$$
 Cs-137:

$$\Delta N = A \cdot \Delta t = 48000 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ st} = 8,3 \cdot 10^9 \text{ st}$$
 b) Am-241: Sönderfallet skrivs

$${}_{95}^{241}\text{Am} \rightarrow {}_{93}^{237}\text{Np} + {}_2^4\text{He} + \text{energi}$$
 Elektronerna är lika många före och efter sönderfallet så de behöver inte räknas med vid energiberäkningen.

$$\Delta m = m_{\text{Am-241}} - m_{\text{Np-237}} - m_{\text{He-4}} =$$

$$= (241,056829 - 237,048173 - 4,002603) \text{ u} =$$

$$= 0,006053 \text{ u} = 0,006053 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 5,6 \text{ MeV}$$
 Cs-137: Sönderfallet skrivs

$${}_{55}^{137}\text{Cs} \rightarrow {}_{56}^{137}\text{Ba} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e + \text{energi}$$

$$\Delta m = (m_{\text{Cs-137}} - 55m_e) - (m_{\text{Ba-137}} - 56m_e) - m_e =$$

$$= m_{\text{Cs-137}} - m_{\text{Ba-137}} =$$

$$= (136,907084 - 136,905827) \text{ u} = 0,001257 \text{ u} =$$

$$= 0,001257 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 1,2 \text{ MeV}$$
 c) Am-241:
 Den totala energin från alla sönderfall är

$$6,0 \cdot 10^9 \cdot 5,6 \text{ MeV} = 6,0 \cdot 10^9 \cdot 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} =$$

$$= 0,0054 \text{ J}$$

$$D = \frac{E}{m} = \frac{0,0054}{50} \text{ Gy} = 0,11 \text{ mGy}$$
 Cs-137:
 Den totala energin från alla sönderfall är

$$8,3 \cdot 10^9 \cdot 1,2 \text{ MeV} =$$

$$= 8,3 \cdot 10^9 \cdot 1,2 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,0016 \text{ J}$$

$$D = \frac{E}{m} = \frac{0,0016}{50} \text{ Gy} = 0,032 \text{ mGy}$$
 d) Am-241 är en α -strålnare. α -strålning har kvalitetsfaktorn $Q = 20$. Den ekvivalenta dosen är för Am-241 är $H = Q \cdot D = 20 \cdot 0,11 \text{ mSv} = 2,2 \text{ mSv}$
 Cs-137 är en β^- -strålnare. β^- -strålning har kvalitetsfaktorn $Q = 1$. Den ekvivalenta dosen är för Cs-137 är $H = Q \cdot D = 1 \cdot 0,03 \text{ mSv} = 0,03 \text{ mSv}$
 e) Den ekvivalenta dosen är mycket högre för Am-241. Am-241 är farligast.
 f) Se lärobokens facit.
 Svar: a) Am-241: $6,0 \cdot 10^9$ st, Cs-137: $8,3 \cdot 10^9$ st
 b) Am-241: 5,6 MeV, Cs-137: 1,2 MeV
 c) Am-241: 0,11 mGy, Cs-137: 32 μ Gy
 d) Am-241: 2,2 mSv, Cs-137: 0,03 mSv
 e) Am-241 är farligast f) –

11122. a) Se lärobokens facit.

b) 12 h = 0,5 dygn

Den effektiva halveringstiden T_{effektiv} beräknas ur

$$\frac{1}{T_{\text{effektiv}}} = \frac{1}{T_{\text{biologisk}}} + \frac{1}{T_{\text{fysikalisk}}} = \frac{1}{0,5} + \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{T_{\text{effektiv}}} = \frac{1}{0,5} + \frac{1}{5} = \frac{10}{5} + \frac{1}{5} = \frac{11}{5}$$

$$T_{\text{effektiv}} = \frac{5}{11} \text{ dygn} = 0,45 \text{ dygn}$$

Efter 5 dygn har aktiviteten minskat till

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = A_0 \cdot 2^{-\frac{5}{0,45}} = 0,0005 \cdot A_0$$

Aktiviteten har således minskat med 99,95%

Svar: a) – b) 99,95 %

11123. a) Syre-15 har massan 15,0 u =

$$= 15,0 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 15,0 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} =$$

$$= 2,49 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$20 \text{ mg} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

I 20 mg syre-15 finns då

$$N = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{2,49 \cdot 10^{-26}} = 8,0 \cdot 10^{20} \text{ st atomkärnor}$$

b) Syre-15 har halveringstiden 122,2 s.

Sönderfallskonstanten är

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{122,2} \text{ s}^{-1} = 0,00567 \text{ s}^{-1}$$

Aktiviteten

$$A = \lambda \cdot N = 0,00567 \cdot 8,0 \cdot 10^{20} \text{ Bq} = 4,6 \cdot 10^{18} \text{ Bq}$$

c) Aktiviteten $A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

Aktiviteten har sjunkit till 0,01 A_0 efter tiden t då

$$0,01A_0 = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$0,01 = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$-\lambda \cdot t = \ln 0,01$$

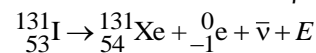
$$t = \frac{\ln 0,01}{-\lambda} = \frac{\ln 0,01}{-0,00567} \text{ s} = 812 \text{ s} = 14 \text{ min}$$

Svar: a) $8,0 \cdot 10^{20}$ kärnor b) $4,6 \cdot 10^{18}$ Bq

c) 14 minuter

$$11124. \text{ Dosen } D = \frac{E}{m} \Rightarrow E = D \cdot m = 35 \cdot 0,015 \text{ J} = 0,525 \text{ J}$$

Jod-131 sönderfaller med β^- -sönderfall enligt



$$\Delta m =$$

$$= 130,906114 - 53 \cdot m_e - (130,905072 - 54 \cdot m_e) - m_e =$$

$$= (130,906114 - 130,905072) u = 0,001042 u =$$

$$= 0,001042 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 0,971 \text{ MeV} =$$

$$= 0,971 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,55 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Varje jodsönderfall ger alltså $1,55 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ energi.

För att ge 0,525 J energi måste

$$\frac{0,525}{1,55 \cdot 10^{-13}} = 3,38 \cdot 10^{12} \text{ st jodkärnor sönderfalla.}$$

I-131 har massan 131 u =

$$= 131 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 2,17 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$3,38 \cdot 10^{12} \text{ st atomer väger}$$

$$3,38 \cdot 10^{12} \cdot 2,17 \cdot 10^{-25} \text{ kg} = 7,3 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$$

Eftersom endast 20% av strålningen kommer att träffa tumören får vi ge patienten 5 gånger så mycket.

$$5 \cdot 7,3 \cdot 10^{-13} \text{ kg} = 3,7 \cdot 10^{-12} \text{ kg} = 3,7 \text{ ng}$$

Svar: 3,7 ng

11125. Ir-192 sönderfaller huvudsakligen med β^- -sönderfall. En del av strålningen sänds ut som gammastrålning.

Halveringstiden är 73,8 dygn.

Vi måste göra vissa uppskattningar.

Vi antar att familjemedlemmarna var hemma 8 h/dygn.

Under dessa 8 h skedde

$$1,1 \cdot 10^{12} \cdot 20 \cdot 8 \cdot 3600 = 6,34 \cdot 10^{17} \text{ st sönderfall.}$$

Vi uppskattar den frigjorda energin i varje sönderfall till 1 MeV (typiskt värde för β^- -sönderfall).

Vi antar vidare att 1/200 av den utsända strålningen absorberas av en person som väger 50 kg).

Absorberad dos blir

$$D = \frac{E}{m} = \frac{6,34 \cdot 10^{17} \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{55 \cdot 200} \text{ Gy} = 9 \text{ Gy}$$

Med viktfaaktorn 1 och hela kroppen exponerad blir den effektiva stråldosen 9 Sv.

Grova uppskattningar är gjorda och svaret kan variera avsevärt. Stråldosen är dödlig.

(Nästan alla familjemedlemmarna dog av akut strålsjuka.)

Svar: ca 9 Sv

11126. a) Co-60 har halveringstiden $T_{1/2} = 5,271$ år.

Sönderfallskonstanten

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5,271 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \text{ s}^{-1} = 4,17 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$$

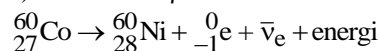
Antalet kärnor N bestäms med hjälp av aktiviteten.

$$A = \lambda \cdot N \Rightarrow N = \frac{A}{\lambda} = \frac{8 \cdot 10^{15}}{4,17 \cdot 10^{-9}} \text{ st} = 1,9 \cdot 10^{24} \text{ st}$$

1 mol Co-60 = $6,022 \cdot 10^{23}$ st väger 60 g.

$$1,9 \cdot 10^{24} \text{ st väger } \frac{60 \cdot 1,9 \cdot 10^{24}}{6,022 \cdot 10^{23}} \text{ g} = 190 \text{ g}$$

b) Co-60 är en β^- -strålnare. Sönderfallet är



$$\Delta m = (m_{\text{Co-60}} - 27m_e) - (m_{\text{Ni-60}} - 28m_e) - m_e =$$

$$= m_{\text{Co-60}} - m_{\text{Ni-60}} =$$

$$= (59,933817 - 59,930786) \text{ u} = 0,003031 \text{ u} =$$

$$= 0,003031 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 2,8 \text{ MeV}$$

På 5 s sker $5 \cdot 8 \cdot 10^{15}$ st sönderfall.

Den totalt utstrålade energin under 5 s är

$$5 \cdot 8 \cdot 10^{15} \cdot 2,8 \text{ MeV} =$$

$$= 5 \cdot 8 \cdot 10^{15} \cdot 2,8 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 18000 \text{ J}$$

Strålningen från preparatet förväntas vara fördelad jämnt

över en sfär med radien 4 m. Arealen av denna sfär är $4\pi r^2$

$$= 4\pi \cdot 4^2 \text{ cm}^2 = 201 \text{ m}^2. \text{ Energin per m}^2 \text{ på detta avstånd}$$

$$\text{är då } \frac{18000}{201} \text{ J/m}^2 = 90 \text{ J/m}^2.$$

Anta att arean som bestrålas är 1 m^2 . Energin som kroppen får ta emot är då ca 90 J.

Anta att personen ifråga väger 50 kg. Absorberas dos är

$$\text{då } D = \frac{E}{m} = \frac{90}{50} \text{ Gy} = 2 \text{ Gy}. \text{ Eftersom det är fråga om}$$

β^- - och γ -strålning har båda kvalitetsfaktorn 1.

Effektiv stråldos är då ca 2 Sv.

c) Co-60 sönderfaller med betastrålning men avger även energirik gammastrålning. Det är därför som det så ofta används i olika tillämpningar. Det innebär att det behövs ett kraftigt strålskydd.

Halveringstiden är så pass lång att vi kan uppskatta

antalet sönderfall per år till ca

$$8 \cdot 10^{15} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 2,5 \cdot 10^{23}$$

Varje sönderfall har energin $2,8 \text{ MeV} = 4,5 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

Det ger den totala energin $1,1 \cdot 10^{11} \text{ J}$

Om den dosen träffade en anställd skulle den absorberade stråldosen bli

$$D = \frac{E}{m} = \frac{1,1 \cdot 10^{11}}{50} = 2,2 \cdot 10^9 \text{ Gy}$$

Eftersom viktfaaktorn för gammastrålning är 1 så blir den ekvivalenta dosen $2,2 \cdot 10^9 \text{ Sv}$.

Men nu måste vi ta hänsyn till att personen befinner sig en bit ifrån strålkällan och att en del av strålningen absorberas av betongväggen.

Vi antar att lokalen har designats för att klara av den sämsta möjliga situationen. Att preparatet befinner sig

precis intill väggen och att personen befinner sig precis intill väggen men på utsidan. Vi uppskattar personens area till 1 m^2 och kallar väggens tjocklek för x . Då

kommer endast $\frac{1}{4\pi x^2}$ av strålningen att röra sig i

riktning mot personen. Av denna kommer en stor del att stoppas av väggen, enligt sambandet $I = I_0 e^{-\mu x}$ där μ uppskattas till $0,0025 \text{ mm}^{-1}$ med ledning av tabellen på sidan 413. Vi antar sen att all den strålningen som nått så långt absorberas av personen. (Det är antagligen en kraftig överskattning, men vi vill ju vara säkra.)

Om stråldosen till personen ska vara mindre än $0,002 \text{ Sv}$ som det står i uppgiften måste väggen vara så tjock som lösningen till den här ekvationen anger.

$$\frac{2,2 \cdot 10^9 \cdot e^{-0,0025x}}{4\pi x^2} = 0,002$$

Vi använder en miniräknare för att lösa ekvationen och får $x = 3500 \text{ mm}$.

Om man tänker sig att personen inte absorberar all strålning som träffar den, bara arbetar $1/3$ av tiden under ett år, att preparatet hålls mitt i rummet och att personen inte vistas precis intill väggen så kan man minska tjockleken avsevärt. Men man bygger ofta med en ganska stor säkerhetsmarginal för att inte extrema situationer ska leda till en katastrof.

Svar: a) 190 g b) 2 Sv c) Med 3,5 meter tjock vägg kan man vara helt säker på att stråldosen inte överstiger 2 mSv.