

FYS1010 Fasit oppgavesett 4

Oppgave 1

- a) Antall radioaktive atomer, N , ved tiden, t , er: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
Forholdet mellom antall atomer nå, N , og når nedfallet skjedde, N_0 , er:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot t} = e^{-\frac{\ln 2}{30\text{år}} \cdot 16\text{år}} \approx 0.69$$

Det er igjen 69% (dvs. 493 gram) etter 16 år.

- b) Vi summerer opp de tre bidragene (β_1 , β_2 og γ)
I desintegrasjonsskjemaet er maksimal β -energi oppgitt. Middelerdien for β er $\beta_{\max}/3$. β -partiklene har kort rekkevidde og all energien avsettes i kroppen. For γ antar vi at 50% av energien avsettes i kroppen.

$$E_{\beta_1} = 94.6\% \cdot 0.512/3 \text{ MeV} = 0.161 \text{ MeV}$$

$$E_{\beta_2} = 5.4\% \cdot 1.172/3 \text{ MeV} = 0.021 \text{ MeV}$$

$$E_{\gamma} = 94.6\% \cdot 0.662 \text{ MeV} \cdot 50\% = 0.313 \text{ MeV}$$

Energiabsorpsjon i kroppen for hver desintegrasjon er:

$$E = E_{\beta_1} + E_{\beta_2} + E_{\gamma} = 0.495 \text{ MeV} \approx \underline{0.5 \text{ MeV}}.$$

- c) Aktiviteten til 200 g kjøtt (ved tiden $t = 0$):
 $0.200 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ Bq/kg} = 200 \text{ Bq}$

$$\text{Den effektive halveringstiden er } t_{\text{eff}} = \frac{t_F \cdot t_B}{t_F + t_B} = \frac{30\text{år} \cdot 3\text{mnd}}{30\text{år} + 3\text{mnd}} \approx 3 \text{ mnd} (= t_B)$$

$$\text{Effektiv desintegrasjonskonstant: } \lambda_{\text{eff}} = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{3 \text{ mnd}} = \frac{\ln 2}{3 \cdot 90 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = 8.9139 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

Sammenhengen mellom aktivitet, A_0 , og antall radioaktive atomer, N_0 , er $A_0 = \lambda_{\text{eff}} \cdot N_0$.

$$\text{Alle } N_0 \text{ desintegrerer i kroppen: } N_0 = \frac{A_0}{\lambda_{\text{eff}}} = \frac{200 \text{ Bq}}{8.9139 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}} = 2.243 \cdot 10^9$$

$$\text{Total energi absorbert i kroppen: } E_{\text{abs}} = 2.243 \cdot 10^9 \cdot 0.5 \text{ MeV} = 2.243 \cdot 10^9 \cdot 0.5 \cdot 10^6 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1.7949 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

$$\text{Stråledosen } D = \frac{E_{\text{abs}}}{\text{masse}} = \frac{1.7949 \cdot 10^{-4} \text{ J}}{60 \text{ kg}} = 2.991 \cdot 10^{-6} \text{ J/kg} \approx 3.0 \mu\text{Gy}$$

Ekvivalent stråledose er 3.0 μSv (strålevektfaktor for β og γ er 1)

- d) Årlig bakgrunnsdose:
Kosmisk + ekstern γ + radioaktivitet i kroppen + radon med døtre =
 $0.35 \text{ mSv} + 0.55 \text{ mSv} + 0.37 \text{ mSv} + 2.0 \text{ mSv} \approx \underline{3 \text{ mSv}}$

e) En middag hver uke i 1 år gir en dose på: $3 \mu\text{Sv} \cdot 52 = 0.156 \text{ mSv}$.

Dette utgjør $0.156/3 \approx 5\%$ av naturlig bakgrunnsdose. Dette er svært lite og det er derfor ikke liten grunn til å fraråde inntak av slike mengder sauekjøtt.

f) Startaktivitet er: $A_0 = 1000 \text{ Bq/kg}$
Sluttaktivitet er: $A = 600 \text{ Bq/kg}$

Biologisk halveringstid $t_b = 3 \text{ uker}$

Fysisk halveringstid er $t_f = 30 \text{ år}$.

$$\frac{1}{t_{\text{eff}}} = \frac{1}{t_f} + \frac{1}{t_b} = \frac{1}{30\text{år}} + \frac{1}{3\text{uker}} \approx \frac{1}{3\text{uker}}$$

Effektiv halveringstid er derfor $t_{\text{eff}} = 3 \text{ uker}$.

Vi finner nedføringstiden t fra:

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

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

$$\ln \frac{A}{A_0} = -\lambda \cdot t$$

$$\text{Nedføringstiden er: } t = -\frac{\ln A/A_0}{\lambda} = -\frac{\ln A/A_0}{\ln 2} \cdot t_{\text{eff}} = -\frac{\ln \frac{600}{1000}}{\ln 2} \cdot 3\text{uker} \approx \underline{\underline{2.2 \text{ uker}}}$$

Oppgave 3

a) Tiden, t , det tar for aktiviteten er redusert til $A = 0.5 \text{ MBq}$ fra $A_0 = 1.5 \text{ MBq}$ finnes fra

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

$$\ln \frac{A}{A_0} = -\lambda \cdot t$$

$$t = \frac{\ln[A/A_0]}{-\lambda} = \frac{\ln[0.5/1.5]}{-\ln 2} \cdot 30\text{år} \approx \underline{\underline{47.55 \text{ år}}}$$

b) Cs-137 emitterer β - og γ -stråling, begge med strålingsvektfaktor 1.

c) Dosehastigheten for en 1.5 MBq kilde i en avstand $r_1 = 1.0 \text{ m}$ er $0.117 \mu\text{Gy/time}$.

Vi skal finne hvor lang tid, t , en må oppholde seg i en avstand $r_2 = 0.75$ m for å motta en dose på 1.0 mSv når kilden har aktivitet 1.0 MBq. Dosehastigheten for en 1.5 MBq kilde i avstand $r_1 = 1.0$ m er oppgitt.

Vi finner først dosehastighet for 1.0 MBq kilde i avstand r_1 :

$$\frac{0.117 \mu\text{Gy/time}}{1.5 \text{ MBq}} \cdot 1.0 \text{ MBq} = 0.078 \mu\text{Gy/time}$$

Så finner vi dosehastighet for 1.0 MBq kilde i avstand r_2 :

$$\frac{\text{Dosehastighet}(r_2)}{\text{Dosehastighet}(r_1)} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$\text{Dosehastighet}(r_2) = \left(\frac{1.0}{0.75}\right)^2 \cdot 0.078 \mu\text{Gy/time} = 1.386 \cdot 10^{-7} \text{ Gy/time}$$

Sammen mellom dosehastighet og dose er

$$\text{Dose} = \text{dosehastighet} \cdot \text{tid}$$

Tiden det tar for å motta 1 mSv for en 1.5 MBq kilde i avstand $r_2 = 0.75$ m er

$$\frac{\text{Dose}}{\text{Dosehastighet}(r_2)} = \frac{1 \text{ mSv}}{1.386 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/time}} = \frac{10^{-3}}{1.386 \cdot 10^{-7}} \text{ timer} = 7215 \text{ timer} \approx \underline{\underline{301 \text{ dager}}}$$

Oppgave 4

b) I middel avsettes 1/3 av β -partikkelens maksimalenergi i kroppen.

$$\begin{aligned} \text{Årlig absorbert dose: } & 30 \text{ Bq/kg} \cdot (156 \text{ keV}/3) \cdot 365 \text{ dager} \cdot 86400 \text{ sek/dag} = \\ & 30 \text{ s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 156/3 \cdot 1000 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot 365 \cdot 86400 \text{ s} = 7.87 \cdot 10^{-6} \text{ J/kg} = 7.87 \cdot 10^{-6} \text{ Gy} \\ \text{Strålevektfaktor for } \beta\text{-stråling er } & 1. \text{ Effektiv dose er: } 7.87 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = \underline{\underline{7.87 \mu\text{Sv}}} \end{aligned}$$

c) Sammenhengen mellom aktivitet, A , og antall radioaktive atomer, N er $A = \lambda \cdot N$.

Antall radioaktive C-14 atomer pr. kg kroppsmasse er:

$$N = \frac{A}{\lambda} = \frac{A}{\ln 2/t_{1/2}} = \frac{30 \text{ s}^{-1} \cdot 5730 \text{ år} \cdot 365 \text{ dager/år} \cdot 86400 \text{ s/dag}}{\ln 2} = \underline{\underline{7.82 \cdot 10^{12}}}$$

d) Aktiviteten når han døde antas å være er $A_0 = 30$ Bq/kg. Aktiviteten når han ble funnet var:

$$\begin{aligned} A &= A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 30 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{5730} \cdot 5000} \text{ Bq/kg} \\ &= \underline{\underline{16.4 \text{ Bq/kg}}} \end{aligned}$$

e) C-14 produseres ved ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$. Nøytronene stammer fra kosmisk stråling og antas å være konstant.