FYS 1010 – Miljøfysikk

Oppgavesett 6

Oppgave 1

a) Massen til 1 mol Po-210 er 210 g. Antall atomer i 1 mol er $N_A = 6.023 \cdot 10^{23}$.
Antall atomer: $N = N_A \cdot (5 \cdot 10^{-6} g) / (210\ g/mol) = 1.43 \cdot 10^{16} \approx \underline{\underline{1.4 \cdot 10^{16}}}$

Den fysiske halveringstiden er t_f = 138 dager = $1.192 \cdot 10^7$ s.

Aktiviteten er: $A = \lambda \cdot N = (\ln 2/t_f) \cdot N = 8.33 \cdot 10^8\ s^{-1} = 8.33 \cdot 10^8$ Bq $\approx \underline{\underline{8.3 \cdot 10^8 \text{ Bq}}}$

b) Den effektive dosen er $H = D \cdot w_R \cdot v$

der D er absorbert dose i Gy, w_R er strålingsvektfaktoren som i dette tilfellet er 20 siden det emitteres α-partikler, v er organvektfaktoren som her er 1 (helkroppsdose).

$D = \Delta N \cdot E_a/m$, der ΔN er antall desintegrasjoner som har funnet sted i kroppen, E_a er absorbert energi pr. desintegrasjon (5.3 MeV) og m = 100 kg er personens masse.

Vi starter med å finne ΔN. Vi må ta hensyn til at aktiviteten, A, ikke er konstant. Den endrer seg med tiden fordi Po-210 desintegrerer i kroppen men også fordi Po-210 skilles ut i kroppen. Aktiviteten avtar bestemt av den effektive halveringstiden t_{eff}.

Vi finner antall desintegrasjoner, ΔN, ved å integrere over aktiviteten A:

$$\Delta N = \int_{t_0}^{t_1} A \cdot dt = \int_{t_0}^{t_1} A_0 \cdot e^{-\lambda_{eff} \cdot t} dt = A_0 \cdot \frac{-1}{\lambda_{eff}} [e^{-\lambda_{eff} \cdot t_1} - e^{-\lambda_{eff} \cdot t_0}]$$

Vi finner den effektive halveringstiden, t_{eff}, og deretter effektiv desintegrasjonskonstant, λ_{eff}.

$$\frac{1}{t_{eff}} = \frac{1}{t_F} + \frac{1}{t_B}$$

Den fysiske halveringstiden er $t_F = 138 \cdot 24 \cdot 3600\ s = 1.192 \cdot 10^7$ s

Biologisk halveringstid er $t_B = 50 \cdot 24 \cdot 3600\ s = 4.32 \cdot 10^6$ s

$$t_{eff} = \frac{t_{eff} \cdot t_B}{t_{eff} + t_B} = 3.17 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$t_0 = 0$

og t_1 = 24 timer = 24 · 3600 s = 86400 s

Antall desintegrasjoner etter 24 timer er dermed:

$$\Delta N = A_0 \cdot \frac{-1}{\lambda_{eff}}\left[e^{-\lambda_{eff} \cdot t_1} - e^{-\lambda_{eff} \cdot t_0}\right] = 7.13 \cdot 10^{13}$$

Den effektive dosen er

H = D · w_R · v = ΔN · (E_a/m) · w_R · v = 12.10 Sv ≈ 12 Sv

c) Den eneste forskjellen fra oppgave b) er at t_1 = 7 dager = 7 · 24 · 3600 s = 6.048 · 10^5 s

Den effektive dosen er nå: 80.10 Sv ≈ 80 Sv

d) Muligheten for å overleve er svært liten.

e) Den effektive dosen, H, fra Po-210 skal nå være maksimum 200 mSv. Fra b) er

H = D · w_R · v = ΔN · (E_a/m) · w_R · v

Antall desintegrasjoner er : ΔN = $\frac{H}{\frac{E_a}{m} \cdot w_R \cdot v} = 8.25 \cdot 10^{11}$

Vi foretar samme integrasjon som i b) og c) for å finne hvilken startaktivitet, A'_0 , dette tilsvarer:

$$\Delta N = A'_0 \cdot \frac{-1}{\lambda_{eff}}[e^{-\lambda_{eff} \cdot t_1} - e^{-\lambda_{eff} \cdot t_0}]$$

Dette gir : A'_0= 1.806 · 10^5 Bq

Vi kan nå beregne hva dette tilsvarer i antall atomer ved starttidspunktet, N'_0 , (som i 1 a)):

$$A'_0 = \lambda_{fysisk} \cdot N'_0$$

$$N'_0 = \frac{A'_0}{\lambda_{fysisk}} = \frac{A'_0}{ln2/t_F} = 3.106 \cdot 10^{12}$$

Vi beregner hva dette tilsvarer i antall gram, X (se oppgave 1a)):

$N_0 = N_A \cdot X$ /210

$$X = N_0' \cdot \frac{210\text{g}}{N_A} = 1.08 \cdot 10^{-9}\ \text{g}$$

10% av inntatt mengde opptas i blodet. X er det som opptas i blodet. Den totale mengden som kan inntas for å holde dose under 200 mSv er 10 ganger X. Maksimal mengde er derfor:

$1.1 \cdot 10^{-8}$ g

Oppgave 2

a)

Naturlig aktivitet i havvann: 12 Bq pr liter = 12 Bq/dm^3 = 12 000 Bq/m^3

Aktivitet til Technetium: = 8.5 Bq/m^3

Aktivitet til Tc sammenlignet med med naturlig aktivitet: (8.5 / 12 000) • 100% = 0.07 %

eller

Naturlig aktivitet er 1400 ganger større enn aktiviteten til Tc-99

b)

Fysisk halveringstid for K-40: $1.3 \cdot 10^9$ år.

Ett mol K-40 tilsvarer $40 \cdot 10^{-3}$ kg

Avogadros tall: $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$

Naturlig aktivitet K-40 pr m^3: 12 000 Bq/m^3 · 96 % K-40 = 11 520 Bq/m^3

Total Aktivitet K-40 i havene: 11 520 Bq/m^3 · $1{,}35 \cdot 10^{18}$ m^3 = $1{,}560 \cdot 10^{22}$ Bq

Finner total antall atomer K-40 fra uttrykket $A = \lambda \cdot N$:

λ = ln2 / $T_{½}$ = ln2 / ($1.3 \cdot 10^9$ år · $3.1536 \cdot 10^7$ sek/år) = $1{,}6907 \cdot 10^{-27}$s-1= $5{,}332 \cdot 10^{-10}$ år $^{-1}$

$N = A/\lambda = 1.560 \cdot 10^{22}$ Bq / $1.6907 \cdot 10^{-17}$ s^{-1} = $9.23 \cdot 10^{38}$ atomer K-40

Finner mengde K-40 i kg vha mol-begrepet:

Antall mol K-40 = $9.23 \cdot 10^{38}$ atomer / N_A atomer pr mol = $1.53 \cdot 10^{15}$ mol

Total mengde K-40 = $1.53 \cdot 10^{15}$ mol · $40 \cdot 10^{-3}$ kg/mol = $6.12 \cdot 10^{13}$ kg ≈ $6 \cdot 10^{13}$ kg

c)

Fysisk halveringstid er bestemt av desintegrasjonskonstanten og angir tiden det tar før et gitt antall av radioaktive kjerner er halvert , dvs før aktiviteten er halvert.

Biologisk halveringstid er den tid det tar før halvparten av en gitt mengde radioaktivt stoff er utskilt fra kroppen.

Ved doseberegninger er det den halveringstiden som er kortest som har størst betydning. Når det er stor forskjell på T_{fys} og T_{biol} vil den effektive halveringstida være tilnærmet lik den minste halveringstida.

d)

Vi ønsker å finne tiden, t, det tar å gå fra et strålenivå på 100% til 1%.

Dvs startnivået $N_0 = 100$ og sluttnivået $N = 1$

Sammenhengen mellom N og N_0 er: $N = N_0 \bullet e^{-\lambda t}$

Den biologiske halveringstida er i dette tilfellet MYE kortere enn den fysisk halveringstida, dvs den effektive halveringstida er tilnærmet lik den biologiske, dvs 2 dager

Desintegrasjonskonstanten er $\lambda = \ln 2 / 2$ dager = 0.35 dager $^{-1}$

$N/N_0 = 1/100 = e^{-\lambda t}$

$\ln(1/100) = -\lambda t$

$t = -\ln(1/100)/\lambda = -\ln(0{,}01) / 0.35$ dager $^{-1}$ = 13.15 dager

t ≈ 13.2 dager

e)

Energi avgitt fra 1.0 kg hummer E = $4.48 \bullet 10^{-8}$ J/Bq • 42 Bq/kg • 1,0 kg = $1.88 \bullet 10^{-6}$ J

Absorbert dose til person på 70 kg: D = $1.88 \bullet 10^{-6}$ J / 70 kg = $2{,}7 \bullet 10^{-8}$ Gy

Ekvivalent dose er gitt som absorbert dose korrigert for strålingsvektfaktor. Effektiv dose er gitt som absorbert dose korrigert for strålingsvektfaktor og organvektfaktor. Både β- og γ- stråling har vektfaktorer på 1. Summen av alle organvektfaktorene tilsvarer hele kroppen og er lik 1.0.

Korreksjonsfaktoren ved overgang fra absorbert til effektiv dose er således lik 1.

Effektiv dose = $2.7 \cdot 10^{-8}$ Sv.

f)

Energimengden som avsettes i barnet er den samme, men massen som energimengden skal fordeles på er mindre. Ettersom absorbert dose er definert som midlere energi pr masse så vil barnet motta en større stråledose enn en voksen person.

g)

En gjennomsnittsnordmann mottar 3-4 mSv fra naturlig bakgrunnstråling pr år?

For å motta en stråledose på 3-4 mSv pr år ved å spise hummer med en aktivitet på 42 Bq/kg må en person på ca 70 kg spise følgende:

$2.7 \cdot 10^{-8}$ Sv / kg hummer • mengde hummer kg = $4 \cdot 10^{-3}$ Sv

Mengde hummer i løpet av ett år: $4 \cdot 10^{-3}$ Sv/ ($2.7 \cdot 10^{-8}$ Sv/kg)

= $1.48 \cdot 10^{5}$ kg ≈ 150 tonn hummer pr år.