

# Fys 1010 Miljøfysikk FASIT Oppgavesett 6

## FASIT oppgave 6

Den viktigste isotop som ble sluppet ut ved Tsjernobylulykken var Cs-137. Den har en halveringstid på 30 år. Målinger gjort rett etter ulykken viste at det totale nedfallet i Norge av Cs-137 var  $2,3 \cdot 10^{15}$  Bq. Massen til Cs-137 er ca 137 amu. Avogadros tall  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ . Hvor mange gram eller kilo Cs-137 falt ned over Norge?

-----

For å finne mengde i gram eller kilo, må vi finne antall atomer – for så å finne totalmassen ut fra vekten til ett atom (som er oppgitt til å være 137 amu)

Finner antall atomer ut fra aktiviteten og halveringstiden

Har oppgitt at aktiviteten  $A = 2,3 \cdot 10^{15}$  Bq

Finner  $\lambda$  ut fra at  $\ln 2 = \lambda \cdot t_{1/2} \rightarrow \lambda = \ln 2 / (30 \text{ år} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 7,3265 \cdot 10^{-10}$

$N = A/\lambda = 2,3 \cdot 10^{15} / 7,3265 \cdot 10^{-10} = 3,1393 \cdot 10^{24}$

Ut fra antall atomer (N) og kunnskap om vekten av ett atom ( $m_{\text{Cs-137}}$ ) kan vi beregne den totale massen.

Vi benytter oss av molbegrepet; dvs at 1 mol Cs-137 veier 137 gram (ettersom atommassen er 137 amu) og i ett mol av Cs-137 er det  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  atomer.

Antall mol =  $3,1393 \cdot 10^{24}$  atomer /  $6,02 \cdot 10^{23}$  atomer/mol = 5,21 mol

Totalmasse Cs-137 = 5,21 mol  $\cdot$  137 g/mol  $\approx$  714 gram

## FASIT oppgave 7

Alle mennesker har noe radioaktivitet i kroppen. I denne oppgaven skal vi konsentrere oss om den naturlige isotopen C-14. Så lenge vi lever er mengden av C-14 konstant, 30-40 Bq pr. kg. Når vi dør avtar dette med en halveringstid på 5730 år.

C-14 sender ut en  $\beta$ -partikkel med maksimal energi på 156 keV.  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

- Hvordan kommer C-14 inn i kroppen?
  - Hvilken årlig stråledose gir C-14, når du antar en aktivitet på 30 Bq/kg?
  - Hvor mange C-14 atomer er det pr. kg kroppsmasse?
  - For omlag 10 år sia ble det funnet en mann i Alpene som en mente hadde ligget der i ca 5000. Hvilken aktivitet av C-14 burde en vente å finne hos denne mannen?
  - Hvordan kan C-14 være en naturlig isotop når halveringstiden er så kort som 5730 år?
- 

7b) **Absorbert Dose = energi deponert pr. masse**

$\beta$ -stråling har kort rekkevidde, og antar derfor at all  $\beta$ -energi deponeres inne i kroppen,  
 $\beta_{\text{max}} = 156 \text{ keV}$ ,  $\rightarrow$  Energideponert pr. desintegrasjon =  $\beta_{\text{middel}} = 156/3 \text{ keV} = 52 \text{ keV}$

Årlig absorbert dose

D =  $30 \text{ Bq/kg} \cdot 52 \text{ keV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} \cdot 3,1536 \cdot 10^7 \text{ sek}$   
=  $7,87 \cdot 10^{-6} \text{ J/kg} \approx 8 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$  = 8  $\mu\text{Gy}$

Både organvektfaktor (helkropp) og strålevektfaktor ( $\beta$ ) er lik 1  $\rightarrow$  Effektiv dose = 8  $\mu\text{Sv}$

7c) Vi kan finne antall radioaktive kjerner (N) ut fra uttrykket  $A = \lambda \cdot N$ .

Vi kjenner aktiviteten ( $A = 30 \text{ Bq/kg}$ ) og halveringstiden ( $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 5730 \text{ år} = 1,8070 \cdot 10^{11} \text{ sek}$ )

Antall atomer C-14 pr. kg  $N = A/\lambda = A \cdot T_{1/2} / \ln 2 =$   $7,82 \cdot 10^{12}$

7d) Ettersom mannen har ligget litt under en halveringstid burde en forvente at aktiviteten nesten er halvert i forhold til aktiviteten i levende materiale, dvs noe mer enn  $30/2 = 15 \text{ Bq}$ .

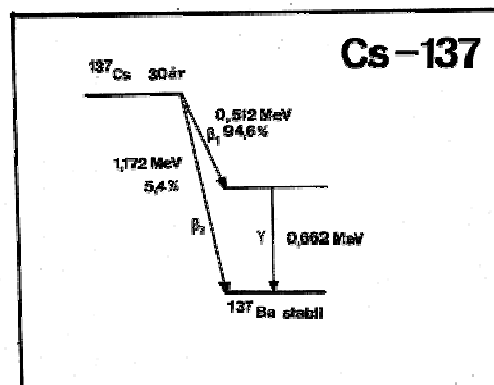
$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = 30 \cdot e^{-\ln 2 / T \cdot t} = 30 \cdot e^{-\ln 2 / 5730 \cdot 5000} =$  16,4 Bq

# Fys 1010 Miljøfysikk FASIT Oppgavesett 7

## FASIT Oppgave 1

1a) Tsjernobylulykken frigjorde en rekke radioaktive isotoper. For Norge var Cs-137 den viktigste isotopen. Den har et desintegrasjonsskjema (decayskjema) som vist i figuren. Fra figuren finner du informasjon om halveringstid, desintegrasjonsveier, stråletype og energi. Du trenger denne informasjonen videre i oppgaven.

Diverse målinger etter ulykken viste at nedfallet av Cs-137 over Norge var totalt på 714-gram.



Hvor mye av det Cs-137 som falt ned over Norge er tilbake 16 år etter?

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{dvs} \quad N/N_0 = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = \ln 2 / 16 \text{ år}$$

$$t = 16 \text{ år}$$

$$\rightarrow N/N_0 = e^{-\lambda t} = 0,69$$

**→ Det er igjen 69 % av  $N_0$  etter 16 år**

1b) Noe Cs-137 kom inn i næringskjedene og vi fant det igjen i matvarer, særlig i kjøtt fra rein og sau som beitet i området med mest nedfall. Når en spiser mat som inneholder Cs-137 vil isotopen fordele seg relativt jevnt til hele kroppen. Hos voksne mennesker er den biologiske halveringstida blitt estimert til å være ca 3 måneder. Vi regner med at hver desintegrasjon avsetter ca 0,5 MeV til kroppen.

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

Kan du på grunnlag av desintegrasjonsskjemaet og din kunnskap om  $\beta$ - og  $\gamma$ -stråling forklare hvorfor det er rimelig å anta at hver desintegrasjon som finner sted inne i kroppen avsetter ca 0,5 MeV i kroppen?

MERK: Middlere  $\beta$ -energi =  $\beta_{\max} / 3$   
 All  $\beta$ -energi kan antas deponert i kroppen  
 Omlag 50% av  $\gamma$ -energien kan antas deponert i kroppen

$$94,6 \% \quad \beta_{1\max} = 0,512 \text{ MeV} \quad 100\% \text{ absorpsjon} \rightarrow E_{\beta 1} = 0,946 \cdot 0,512 / 3 \text{ MeV} \cdot 100\% = 0,161$$

$$5,4 \% \quad \beta_{2\max} = 1,172 \text{ MeV} \quad 100\% \text{ absorpsjon} \rightarrow E_{\beta 2} = 0,054 \cdot 1,172 / 3 \text{ MeV} \cdot 100\% = 0,021$$

$$94,6 \% \quad \gamma = 0,662 \text{ MeV} \quad 50\% \text{ absorpsjon} \rightarrow E_{\gamma} = 0,946 \cdot 0,662 \text{ MeV} \cdot 50\% = 0,313$$

**= 0,495 ≈ 0,5 MeV**

1c) Anta at du spiser én middag med kjøtt fra sau som inneholder 1000 Bq/kg. For enkelthets skyld regner vi med at du spiser 200 gram kjøtt, og at du veier 60 kg. Hvilken stråledose gir denne middagen deg?

Hva er stråledose fra en middag på 200 g kjøtt med en spesifikk aktivitet 1000 Bq/kg; når du veier 60 kg?

Må finne totalt antall desintegrasjoner som finner sted inne i kroppen  
 Halveringstida:  $T_{\text{eff}} = T_F \cdot T_B / (T_F + T_B) = 360 \cdot 3 / 363 \approx 3 \text{ mnd} = T_B$   
 Aktiviteten til å begynne med:  $A_0 = 0,200 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ Bq/kg} = 200 \text{ Bq}$   
 Aktiviteten til enhver tid:  $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$  der  $\lambda = \ln 2 / T_{\text{eff}} = 8,9139 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

Totalt antall desintegrasjoner : Etersom halveringstida er kort kan en anta at ALLE kjernene desintegrerer i løpet av tida, dvs at Antall kjerner som desintegrerer er lik antallet  $N_0$ . ( $N_0$  uttrykkes ved startaktiviteten  $A_0$  og den effektive halveringstida.)

$$\text{Totalt antall desintegrasjoner} = N_0 = A_0 / \lambda_{\text{eff}}$$

$$= A_0 \cdot \ln 2 / T_{\text{eff}} = 200 \cdot \ln 2 / 8,9139 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1} = 2,2437 \cdot 10^9$$

$$\text{Total energi deponert} = 2,2437 \cdot 10^9 \text{ desint.} \cdot 0,5 \cdot 10^6 \text{ eV/desint.} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 1,7949 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

**Dose = energideponert pr. masse**

$$D = 1,7949 \cdot 10^{-4} \text{ J} / 60 \text{ kg} = 2,99 \cdot 10^{-6} \text{ J/kg} \approx \mathbf{3 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}}$$

( $\gamma$  og  $\beta$  har strålevektfaktor lik 1; organvektfaktoren = 1 pga helkropsdose)

→ **Effektivdose =  $3 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$**

1f) I Norge er det pr. idag ikke tillatt å omsette sauekjøtt som inneholder mer enn 600 Bq/kg av Cs-137. Siden den biologiske halveringstiden for sau er ca 3 uker kan en "fore ned" sauer som har et høyere innhold av Cs-137, slik at de når et "akseptabelt" Cs-137 nivå før de slaktes. Dette gjøres som oftest ved å ta sauene ned fra fjellbeitet (hvor mose, gras og lav kan ha relativt høyt Cs-innhold) for deretter å fore dem med for som ikke inneholder Cs-137.

Hvor lang tid ville det ta å fore ned sauene i oppgaven foran (med en spesifikk startaktivitet på  $A_0=1000$  Bq/kg) til et salgbart sluttaktivitetsnivå på  $A=600$  Bq/kg?

-----  
Utgangsaktiviteten  $A_0 = 1000$  Bq/kg

Sluttaktiviteten  $A = 600$  Bq/kg

Biologisk halveringstid = 3 uker  $t_b$  er mye mindre enn  $t_f \Rightarrow t_{\text{eff}} \approx t_b \approx 3$  uker

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

$$\ln(A/A_0) = -\lambda_{\text{eff}} \cdot t$$

$$t = -\ln(A/A_0) / \lambda_{\text{eff}} = -(\ln(600/1000)) / (\ln 2 / 3 \text{ uker}) = \underline{\underline{2,2 \text{ uker}}}$$

**Nedforingstida  $t = 2,2$  uker**