

Innhold

1	LEKSJON 13: KOSMISK STRÅLING OG RADIOAKTIV DATERING	1
1.1	EKSEMPEL PÅ RADIOAKTIV DATERING	2
1.2	RADIOAKTIVITET OG HALVERINGSTID	3
1.3	ENERGISKJEMAET FOR Cs-137.....	4
1.4	RADIOAKTIV DATERING	5
1.5	KALIUM 40 METODEN	7
1.6	RUBIDIUM 87 METODEN.....	8
1.7	LABORATORIEØVELSER ØVELSENE STÅR PÅ PROGRAMMET I FYS 107:.....	12
1.8	OPPGAVER	13
1.9	REFERANSER.....	13

1 Leksjon 13: Kosmisk stråling og radioaktiv datering



Steinmeteoritten funnet i Sahara, bildet til høyre viser et forstørret bilde av overflaten.



De lyse flekkene er kondrulene som reflektere

Meteoritten på bildet er en steinmeteoritt av typen chondritt, den er kappet og viser dens indre struktur. Alle chondrittene inneholder metall og små kuleformede legemer (kondruler) som består av mineralene oliven og prykose.

Meteoritter er de eldste objekter i Solsystemet vårt. Meteorittene har ikke vært med i de prosessene som har dannet planetene, de er rester asteroider i asteroidebeltet som har kollidert med hverandre. Meteoritten har en overflate som viser at den har vært kraftig oppvarmet. Denne oppvarmingen skyldes luftfriksjonen den møter på veien gjennom atmosfæren. Meteoritten kan ha en hastighet på 40 000 km/h når den treffer atmosfæren.

Astronomene har funnet den radioaktive isotopen rubidium (Rb-87) i meteorittene, og beregnet alderen på meteoritten til 4,5 milliarder år. Rubidium har en halveringstid på 47,0 milliarder år. Solsystemet vårt er bare en tredjedel av alderen på Universet (13,7 milliarder år).

1.1 Eksempel på radioaktiv datering

Finn alderen på en meteoritt når 6,5% av Rb-87 isotopen har forsvunnet? Når Rb-87 kjernen sender ut radioaktiv stråling (et elektron og et antinøytrino), dannes den stabile strontiumisotopen Sr-87. Antall protoner i kjernen til rubidium og strontium er henholdsvis 37 og 38.



Løsning:

Når 6,5% av den radioaktive rubidiumisotopen har forsvunnet er der 93,5% igjen i meteoritten. Halveringstiden for rubidium er 47,0 milliarder år. Forholdet mellom antall rubidium isotoper da meteoritten ble født og antall rubidium isotoper i dag er 0,935.

$$0.935 = \frac{m}{m_0} = \frac{1}{2^x}$$

x i likningen er antall halveringer: $x = t/T_{1/2}$

Vi må finne x av likningen, hvordan vi løser denne er litt uvant når man ikke har hatt regning med naturlige logaritmer.

Løsningen av denne likningen er (eller antall halveringer er):

$$x = -\frac{\ln\left(\frac{m}{m_0}\right)}{\ln(2)}$$

Mellomregningene:

$$\ln\left(\frac{m}{m_0}\right) = \ln\left(\frac{1}{2^x}\right) = \ln(2^{-x}) = -x \cdot \ln(2)$$

Vi setter inn

$$x := -\frac{\ln(0.935)}{\ln(2)} = 0.097$$

Når vi kjenner halveringstiden kan vi finne alderen på meteoritten

$$t := 0.097 \cdot 47.0 \cdot 10^9 \cdot \text{yr} = 4.6 \times 10^9 \text{ yr}$$

1.2 Radioaktivitet og halveringstid

Naturen sørger for at de radioaktive kildene forsvinner etter en viss tid. Vi tenker oss at en radioaktiv kilde ved tidspunktet (t) inneholder et bestemt antall $N(t)$ isotoper av samme type. Hvor mange isotoper som forsvinner i løpet et kort tidsintervall (dt) er gitt av uttrykket:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N$$

Venstre side av likningen kan vi kalle for kildens radioaktivitet og uttrykker hvor mange isotoper som forsvinner i løpet av ett sekund. Enheten for denne størrelsen er becquerel (Bq).

Konstanten i formelen (λ) kan vi kalle for strålingskonstant.

Strålingskonstanten kan betraktes som en frekvens, alle de radioaktive isotopene har forskjellig frekvens og av den grunn forskjellig midlere levetid.

Differensiallikningen over har følgende løsning:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Mellomregningene:

$$\int_{N_0}^N \frac{1}{N} dN = \int_0^t \lambda dt \quad \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda \cdot t \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t}$$

Halveringstiden er tiden det tar å halvere antall isotoper:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T}$$

Løser vi denne likningen får vi halveringstiden (T):

Mellomregning:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T} \quad 2^{-1} = e^{-\lambda \cdot T} \quad -1 \cdot \ln(2) = -\lambda \cdot T \cdot \ln(e) \quad T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Innfører vi halveringstiden i formelen over får vi:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\left(\frac{\ln(2)}{T}\right) \cdot t} = N_0 \cdot \frac{1}{e^{\ln(2) \cdot x}} = N_0 \cdot \frac{1}{2^x}$$

$$e^{\ln(2)} = 2 \quad (\text{inverse funksjoner})$$

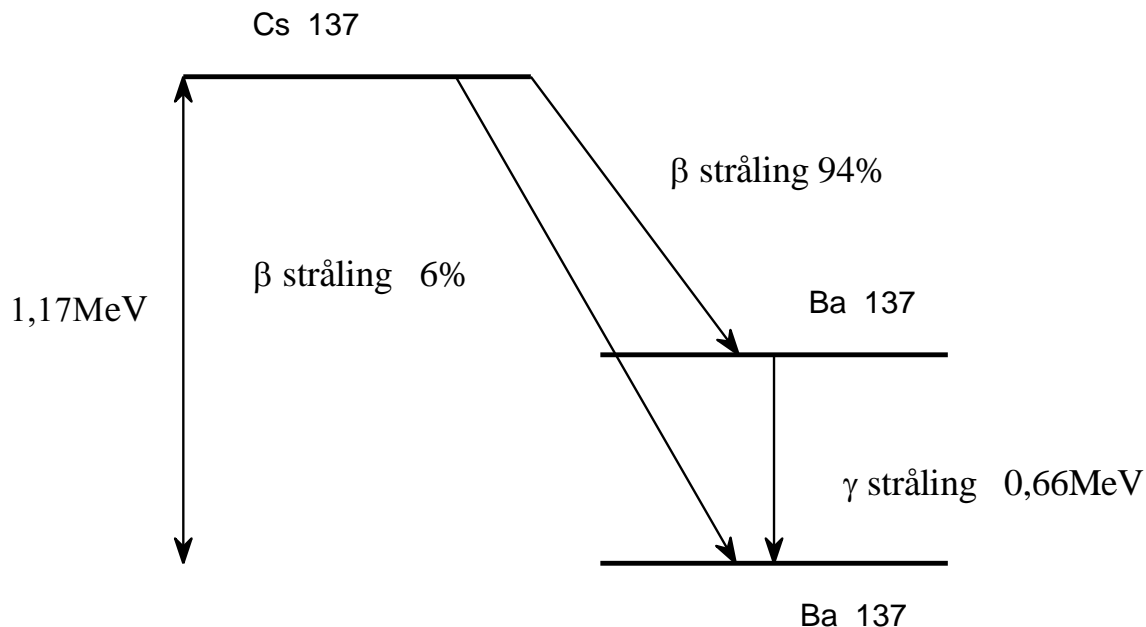
Brøken $\left(\frac{t}{T}\right)$ gir antall halveringer, vi kan erstatte den med x, da får vi:

Vi kan erstatte antall isotoper med massen av isotopene, da får vi:

$$m = m_0 \cdot \frac{1}{2^x}$$

1.3 Energiskjemaet for Cs-137

Cs-137 har en halveringstid på 30 år, 94 % av kjernene som forsvinner sender ut β -partikler med energien 0,51MeV. Restkjernen Ba-137 er en γ -stråler (0,66MeV) med en halveringstid på 2,6minuter og Ba-137 kjernen blir stabil til slutt.



$^{137}\text{Cs}_{55} \rightarrow ^{137}\text{Ba}_{56} + ^0\text{e}_{-1} + \text{antinøytrino}$ (6 % av tilfellene følger denne kjernereaksjonen)

$^{137}\text{Ba}_{56}^* \rightarrow ^{137}\text{Ba}_{56} + \gamma$ (94 % av tilfellene følger denne kjernereaksjonen)

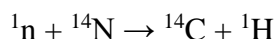
Stjernen (*) betyr at isotopen er radioaktiv og sender ut gammastråling

1.4 Radioaktiv datering

Karbon-14 metoden

Radioaktive isotoper kan benyttes til datering av geologiske prøver (meteoritter og stein funnet på Månen) og arkeologiske prøver (gamle stavkirker eller vikingskip). Arkeologene bruker den mest vanlige metoden som kalles for karbonmetoden

Ute i naturlig finner vi 2 stabile karbonisotoper: ^{12}C (98,93 %) og ^{13}C (1,07 %). I tillegg finnes det små mengder av radioaktive ^{14}C isotopen. Denne isotopen dannes høyt oppe i atmosfæren. Den kosmiske stråling (nøytroner) reagerer med nitrogenatomer, i denne prosessen dannes ^{14}C . Reaksjonen ser slik ut.



Altså en liten del av karbondioksidene (CO_2) i atmosfæren inneholder C-14 isotopen. I biologien har vi lært om fotosyntesen:



Reaksjonslikningen viser at karbondioksidene sammen med vann og lys energi gir plantene næring. Så lenge plantene er i live vil konsentrasjonen av karbondioksidene i plantene være den samme som

i atmosfæren. Plantene slutter med opptak av CO₂ når plantene dør og mengden av den radioaktive C-14 vil avta. Halveringstiden for denne isotopen er 5730 år. Likningen under viser at C-14 er en betastråler, hver gang et elektron sendes ut fra kjernen dannes det et nitrogenatom (N-14). Det er ett av nøytronene i C-14 kjernen som går over til et proton, et elektron og et antinøytrino. Elektronet er ingen kjernepartikkel og forsvinner ut av kjernen.



En usikkerhet med denne dateringsmetoden er at konsentrasjonen av C-14 i atmosfæren endrer seg, dette kjenner vi til fra klimadebatten.

Vi skal ta et eksempel:

Før 1900 var radioaktiviteten fra ett gram C-14 i atmosfæren i snitt 0,255 Bq/gram.

Vi skal først vise hvor mange C-14 atomer luften inneholdt på den tiden og sammenlikne dette antall med antall stabile karbonisotopene i ett gram.

Strålingskonstanten for karbon:

$$\lambda := \frac{\ln(2)}{5730 \cdot \text{yr}} = 3.833 \times 10^{-12} \frac{1}{\text{s}}$$

Satt inn i formelen for radioaktiviteten (sløyfer fortegnet):

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 0.255 \cdot \text{Bq} = N_0 \cdot 3.833 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

Løser vi denne likningen finner vi antall C-14 isotoper i ett gram C-14:

$$N_0 := 6.66 \cdot 10^{10} \text{ antall C-14 atomer/gram}$$

Antall karbonisotoper (C-12) i 1g karbon: Ett mol (12,011g) karbon inneholder 6.022 exp(23) atomer (Avogadros tall):

$$\frac{6.022 \cdot 10^{23}}{12.011} = 5.014 \times 10^{22} \text{ antall C-12 atomer/gram}$$

Sammenlikner vi disse to tallene vil forholdet mellom antall stabile og antall C-14 isotoper i ett gram C-14.

$$\frac{5.014 \cdot 10^{22}}{6.66 \cdot 10^{10}} = 753 \cdot 10^9 = \frac{3 \cdot 10^{12}}{4}$$

Et gram karbon inneholder 3 tusen milliarder stabile C-12 karbonatomer og 4 radioaktive C-14 isotoper.

Det gjenstår å bestemme alderen for det arkeologiske funnet, funnet inneholder 500mg karbon og radioaktiviteten fra disse atomene er 174 reaksjoner/time. Det vil si 0,0967 Bq/g:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 174 \frac{\text{reaksjoner}}{\text{time} \cdot 500 \cdot \text{mg}} = 0,0967 \cdot \frac{\text{Bq}}{\text{g}}$$

Radioaktiviteten pr gram har avtatt med en faktor $1/2^x$:

$$\frac{0,0967}{0,255} = \frac{1}{2^x}$$

Eller $2^x = 2,6370$

Skal vi finne x av denne likningen må vi benytte logaritmeregning:

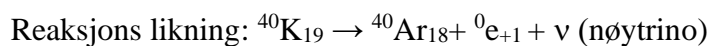
$$x \cdot \ln(2) = \ln(2,637)$$

$$x = 1,3989 = \frac{t}{5730} \quad t = 8020 \text{-år}$$

Dette funnet som arkeologene har funnet er 8020 år gammelt.

1.5 Kalium 40 metoden

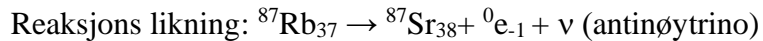
Geologene kan benytte kalium isotopen [K-40](#) ved datering av fjell, halveringstiden for denne isotopen er 1,3 milliarder år. Denne isotopen er en beta stråler og K-40 "går over" til den stabile argonisotopen Ar-40.



Ett av protonene i den radioaktive isotopen K-40 går over til et nøytron, et positron og et nøytrino

1.6 Rubidium 87 metoden

Astronomene kan benytte rubidium (Rb-87) ved datering av meteoritter, halveringstiden er 47,5 milliarder år. Rubidium-87 er en beta kilde, den henfaller til den stabile strontium-87 isotopen (Sr-87). Den radioaktive dateringen baserer seg på at "klokken" starter når meteoritten "blir født". Når meteoritten fødes går den fra en flytende til fast form. Meteoritten har nå fått en naturlig blanding av mange forskjellige atomkjerner. I denne blandingen finner vi også de fire stabile strontiumisotopene, en av disse er Sr-86 isotopen. Vi må anta at ingen nye isotoper er tilført meteoren etter den ble "født".



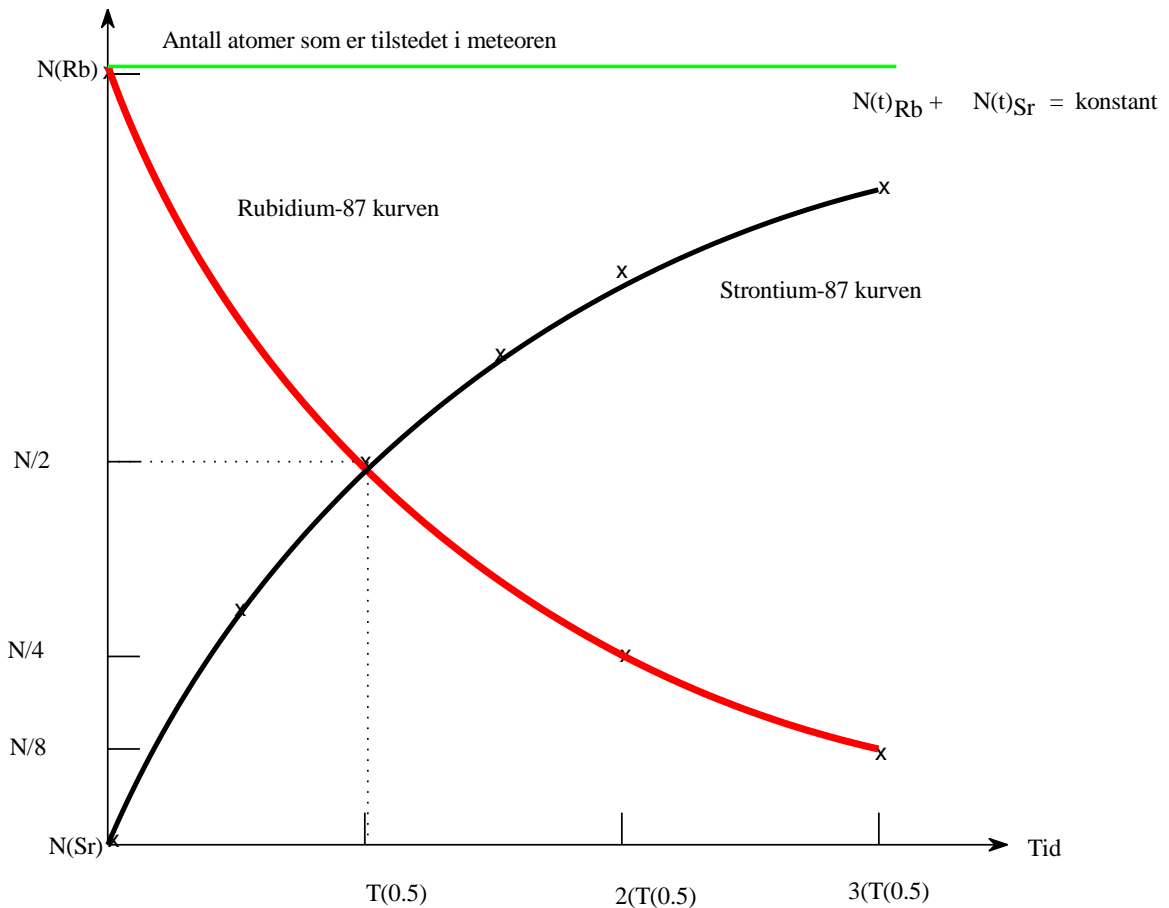
Vi skal se litt nærmere på denne metoden. Antall Rb-87 isotoper som er til stede i meteoritten i dag er gitt av formelen:

$$N_{\text{Rb87}}(t) = N_{\text{Rb87}} \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Antall Rb-87 isotoper som var til stede for i meteoritten da den størknet:

$$N_{\text{Rb87}} = N_{\text{Rb87}}(t) \cdot e^{\lambda \cdot t}$$

Summen av isotopene Rb-87 og Sr-87 i meteoritten må hele tiden være konstant.



Figuren viser hvordan antall rubidiumisotoper avtar, antall nye strontiumisotoper vil øke. Summen av disse to isotopene i meteoritten må hele tiden være konstant. En forutsetning her at antall Sr-87 isotoper er null når vi "starter klokka" (Sr-87 kurven starter i origo).

Vi antar at antall $N_{\text{Rb-87}}$ isotoper og antall $N_{\text{Sr-87}}$ er konstant i meteoritten:

$$N_{\text{Rb87}} + N_{\text{Sr87}} = N_{\text{Rb87}}(t) + N_{\text{Sr87}}(t)$$

Til venstre for likhetstegnet i likningen over har vi antall isotoper når tiden er null, til høyre er antall isotoper i dag.

$$N_{\text{Sr87}}(t) - N_{\text{Sr87}} = N_{\text{Rb87}} - N_{\text{Rb87}}(t)$$

Erstatter N_{Rb87} med $N_{\text{Rb87}}(t) \cdot e^{\lambda \cdot t}$

$$N_{\text{Sr87}}(t) - N_{\text{Sr87}} = (e^{\lambda t} - 1) N_{\text{Rb87}}(t)$$

Denne likningen gir økningen i antall strontiumisotoper (venstre side), høyre side av likhetstegnet viser denne økningen er avhengig av antall rubidiumisotoper i meteoritten i dag. Vi deler hvert ledd med antall stabile Sr-86 isotoper i meteoritten, da får vi:

$$\frac{N_{\text{Sr}87(t)}}{N_{\text{Sr}86}} - \frac{N_{\text{Sr}87}}{N_{\text{Sr}86}} = (e^{\lambda \cdot t} - 1) \cdot \frac{N_{\text{Rb}87(t)}}{N_{\text{Sr}86}}$$

$$\frac{N_{\text{Sr}87(t)}}{N_{\text{Sr}86}} = (e^{\lambda \cdot t} - 1) \cdot \frac{N_{\text{Rb}87(t)}}{N_{\text{Sr}86}} + \frac{N_{\text{Sr}87}}{N_{\text{Sr}86}}$$

$$y = a \cdot x + b$$

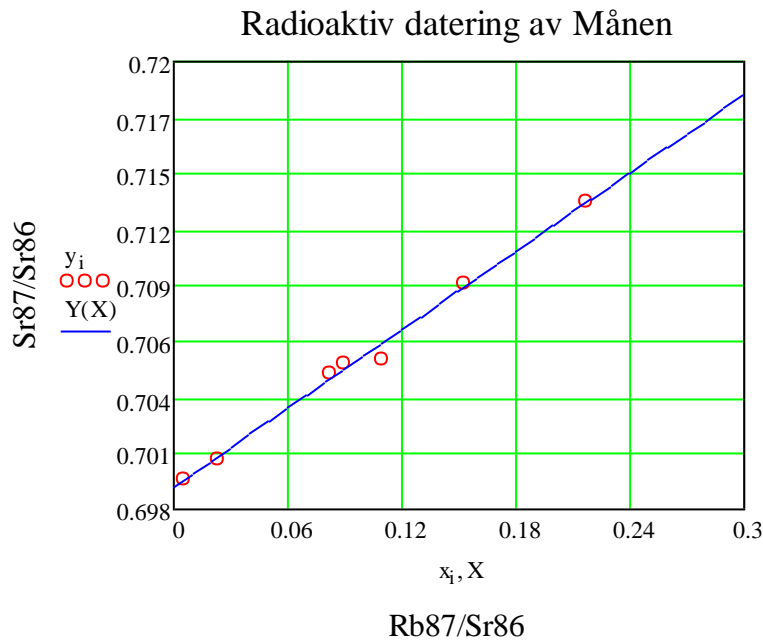
$$y = \frac{N_{\text{Sr}87(t)}}{N_{\text{Sr}86}} \quad a = (e^{\lambda \cdot t} - 1) \quad x = \frac{N_{\text{Rb}87(t)}}{N_{\text{Sr}86}} \quad b = \frac{N_{\text{Sr}87}}{N_{\text{Sr}86}}$$

Astronomene undersøker meteoritten (måneprøven) og måler seg fram til forholdet (y) mellom mengden av de to stabile strontiumisotopene. De må også finne mengdeforholdet (x) mellom den radioaktive rubidiumisotopen og den stabile Sr-86 isotopen.

Eksempel (Modern Astrophysics, side 759)

Data i tabellene er hentet fra en prøve som kommer fra Månen (høylandet) (Pergamon Press New York 1976)

$x_i :=$		$y_i :=$
0.005		0.6995
0.023	$a := \text{slope}(x, y) = 0.064$	0.7005
0.082	$b := \text{intercept}(x, y) = 0.699$	0.7047
0.090	$X := 0, 0.01.. 0.3$	0.7052
0.110	$Y(X) := a \cdot X + b$	0.7054
0.153	$\lambda := 0.0146 \cdot 10^{-9} \cdot \text{yr}^{-1}$	0.7091
0.217	$a = e^{\lambda \cdot t} - 1$	0.7131
	$t := \frac{\ln(a + 1)}{\lambda}$	
		$t = 4.3 \times 10^9 \text{ yr}$



Regneprogrammet MathCad benytter minste kvadraters metode og finner regresjonslinjen $Y(X) = a \cdot X + b$ (blå kurve). Regresjonslinjen viser resultatet av undersøkelsen, denne linjen er tilpasset de røde målepunktene.

Måneprøven i dette eksemplet er hentet fra høylandet på månen, alderen i dette området er altså over fire milliarder år (4,3 milliarder år). Apollo 11 hentet i 1969 en prøve fra mørke lavlandet - "stillhetens hav" (Sea of Tranquility), alderen i dette området er fra 3.1 til 3,8 milliarder år. De eldste områdene er områdene med mange kratre (de lyse områdene, høylandet), de yngste områdene Månens "havområder".

De eldste fjellene på Jorden er datert til 3,8 milliarder år, hele 90 % av jordskorpen er yngre enn 600 millioner år. Denne aldersforskjellen skyldes platedriften på Jorden, gammelt fjell har sunket i "dypet", nytt fjell (vulkanske bergarter, ofte kalt for basalt) har kommet fra Jordens indre og blitt til nytt fjell av yngre dato.

1.7 Laboratorieøvelser øvelsene står på programmet i Fys 107:

Oppgave 1: Vårt strålemiljø (Bakgrunnsstråling)

Undersøk strålemiljøet i klasserommet ved hjelp av to forskjellige GM-rør og bestem strålingen pulshastigheten. Benytt både en transportabel (type SF) og en stasjonær geigerteller (type 245).

Pulshastigheten sier hvor mange utladninger som skjer i Geiger-Myller røret i løpet av ett sekund. En utladning skjer når en radioaktiv partikkel treffer målevolumet i GM-røret. Pulshastigheten er en "relativ størrelse", den er avhengig av det GM-røret som benyttes.

I en beredskapssituasjon vil bakgrunnsstrålingen bli målt av samme apparatur på ulike områder i landet. Norge har i dag 29 automatiske målestasjoner.

Bakgrunnsstråling

Mange atomer som finnes i naturen er radioaktive. Menneskene har derfor alltid vært omgitt av radioaktiv stråling og kommer alltid til å være det. Vi blir også utsatt for radioaktiv stråling fra verdensrommet, vi kaller denne strålingen for kosmisk stråling. Denne strålingen er svært energirike nøytroner, protoner, elektroner og tyngre atomer. Denne strålingen er ikke farlig fordi vi har en atmosfære og et magnetfelt som beskytter oss også mot denne strålingstypen. Det produseres også kunstige radioaktive isotoper for bruk i industrien og på sykehusene våre.

Kosmisk stråling øker med høyden, i løpet av en flytur vil bakgrunnsstrålingen øke. Den kan variere plutselig som følge av kortvarige skurer av radioaktive stråling fra Universet (verdensrommet). Bakgrunnsstrålingen på havet er mindre enn på land. På landjorden kan variasjonen i bakgrunnsstrålingen variere fra sted til sted. Bakgrunnsstrålingen i et trehus er som regel mindre enn bakgrunnsstrålingen fra et murhus.

Utførelse:

1. Vi skal benytte den transportable geigertelleren (type SF) og telle antall lydpuiser høyttaleren avgir i løpet av 60 sekunder. Og bestem pulshastigheten
2. Vi skal benytte GM-røret tilkopleet impulstelleren (type 245) og avlese antall utladninger i løpet av 60 sekunder. Og bestem pulshastigheten.
3. Sammenlikn måleresultatet i 1) og 2)

Oppgave 2: Radioaktiv stråling produserer tåke i diffusjonskammeret

Oppgave 3: Bestem halveringstiden for Ba-137

Vi skal benytte dataloggeren SW 750, geigertelleren Pasco GM-Detektor og DataStudio filen "halveringstid Ba 137.ds"

1.8 Oppgaver

Oppgave 1

Hvis vi starter med 0,80 kg av den radioaktive isotopen kalium (K-40), hvor mye re igjen etter 1,3 milliarder år? Etter 2,6 milliarder år? Etter 3,9 milliarder år? Hvor lang tid må man vente til alle kaliumisotopene er vekk? Halveringstiden for kalium er 1,3 milliarder år. Kalium er en beta stråler, hvilket grunnstoff dannes når kalium sender ut den radioaktive strålingen?

Oppgave 2

$\frac{3}{4}$ av det den radioaktive isotopen K-40 i en vulkansk bergart er blitt til Ar-40. Hvor gammel er denne bergarten?

Oppgave 3

Hvordan er det mulig å bestemme alderen for en meteoritt?

Oppgave 4

En trebit har bare 15 % igjen av mengden C-14 den hadde da treet døde. Hvor gammel kan denne trebiten være?

Oppgave 5

En kilde av den radioaktiv stoffet I-131, med halveringstid 8,0dager har på et tidspunkt en aktivitet av 800 kBq. Hvor stor er aktiviteten 30 dager senere?

1.9 Referanser

1. Reidar G. Trønnes, Naturhistorisk museum, Univ. i Oslo
2. <http://www.imca.cc/> International Meteorite Association
3. <http://www.geotop.no>
- 4.

