

KJM 1060 - Radiokjemidelen

Forelesning 5: Deteksjon av radioaktivitet (og lab-gjennomgang)

102

Oversikt (5)

- Hva skjer når stråling treffer materie?
- Stråledoser.
- Lab-relevant stoff:
 - Deteksjon av stråling.
 - Mor-Datter relasjoner og nuklidgeneratorer.
 - Nøytronaktivitering.

103

Absorpsjon av stråling

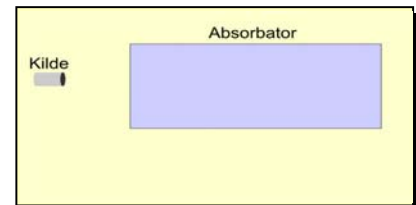
Hva som skjer når stråling absorberes er viktig å forstå av to grunner:

1. Strålingen bærer med seg mye energi, det er avsetningen av energien som forårsaker stråleskade.
2. For å forstå hvordan detektorer virker og skal benyttes, må vi forstå hvordan de fanger opp strålingen.

104

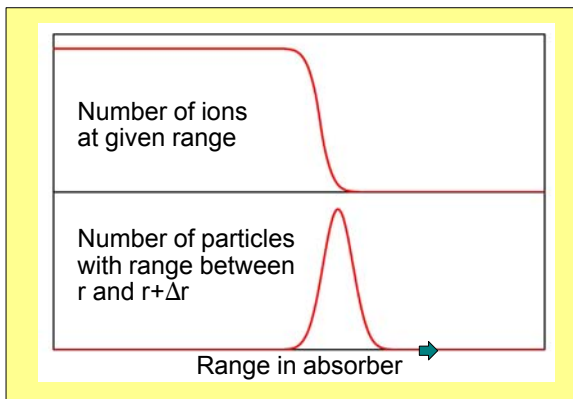
Direkte ioniserende stråling

- Nedbremsingen av partiklenes energi skjer ved at deres kinetiske energi skrittvis overføres til absorbatormediet.
- Dette medfører at atomene i mediet ioniseres og eksiteres.
- For hver nedbremsing av en enkelt part vil mange tusen atomer eksiteres/ioniseres.



105

Rekkevidde



106

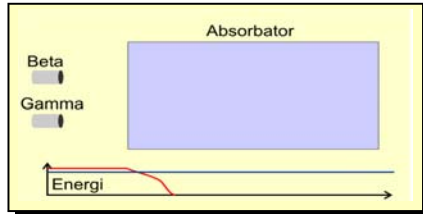
Indirekte ioniserende stråling

- Uladede partikler, i praksis γ -kvant eller nøytroner, vil ikke vekselvirke på samme måte som ladede partikler gjør siden de ikke har ladning.
- Et γ -kvant kan "kollidere" med et elektron og enten
 - Overføre all sin energi til elektronet (fullenergi absorpsjon) eller
 - kun overføre en del av energien til elektronet og sende ut den overskytende energien som et nytt γ -kvant (Compton vekselvirkning).
- Har γ -kvantet energi på mer en 1,022 MeV vil man også kunne få såkalt pardannelse. Dette skal vi ikke gå inn på her.

107

Absorpsjon av γ -stråling

- γ -kvant absorberes ved at enkelte av kvantene absorberes fullstendig.
- Den resterende strålen vil ha et kvant mindre, men alle de gjenværende kvantene vil ha sin opprinnelige energi.



108

Ioniserende stråling -oppsummering

Stråler av ladede partikler:



- Partikkelens energi avtar gradvis.
- Antall partikler er konstant inntil strålen er stoppet.
- Partikkelstrålen har en endelig rekkevidde.

γ -stråling:



- Antall γ -kvant avtar gradvis.
- γ -kvantens energi er konstant.
- En γ -stråle har "uendelig" rekkevidde.



109

Stråledose

- Stråledosen, D , er et mål på hvor mye energi som deponeres pr. masseenheter i det materialet strålingen treffer.
- Dosehastigheten, R_D , er stråledosen pr. tidsenhet.
- Enheten for stråledose er 1 gray (Gy).
 - ▶ Den er definert slik: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{kg}$.

$$\text{Stråledose} = \frac{\text{energi}}{\text{masse}}; D = \frac{E}{m}$$



110

Den biologiske doseekvivalenten

$$H = D \cdot Q \cdot N$$

Strålingstype	Kvalitetsfaktor
200-250 keV røntgen	1
γ -kvant, β -partikler og elektroner	1
Termaliserte nøytroner (< 0.8 MeV)	3
Hurtige nøytroner (>0.8 MeV), protoner og α -partikler	10
Tunge ioner	20

Enheten for den biologiske doseekvivalenten er Sievert (Sv).

111

Eksempler på stråledose

- Bakgrunnstråling ca. 2-4 mSv/år.
 - ▶ Radon: 2 mSv/år.
 - ▶ Medisinsk bruk av stråling: 0,6 mSv/år.
 - ▶ Ekstern γ -stråling: 0,6 mSv/år.
 - ▶ Radioaktivitet i kroppen: 0,4 mSv/år.
 - ▶ Kosmisk stråling: 0,4 mSv/år.
- Røntgenundersøkelse av mage = 0,44 mSv (maks dose til hud = 3,5 mSv).
- Tannlegerøntgenundersøkelse gir ca. 0,16 mSv (1-7 mSv til huden).
- Skjellundersøkelse med 600 MBq ^{99m}Tc gir ca. 3,5 mSv.
- Flyreiser:
 - ▶ Oslo-Tromsø: 0,01 mSv.
 - ▶ Oslo-New York: 0,04 mSv.
 - ▶ Romreise i en måned: 10 mSv.

112

Store doser

- Doser på rundt 0,25 Sv forårsaker målbare forandringer i blodet.
- Likevel vil ikke doser på opptil 1 Sv gi noen øyeblikkelige skader.
- Doser over 1 Sv gir de første tegnene til strålings syk, som er:
 - ▶ Kvalme.
 - ▶ Oppkast.
 - ▶ Hodepine.
 - ▶ Tap av hvite blodlegmer.



113

Tap av forventet livslengde

Årsak/kilde:	Gjennomsnittlig livslengde tap (dager):
Helseisiko:	
Røke 20 sigaretter pr. dag	2370
20% overvekt	985
Alle slags ulykker	435
Alkohol (gjennomsnitt for USA)	130
Drukning	41
Naturlig bakgrunnsstråling	8
Katastrofer (jordskjelv, osv.)	3,5
Yrkesisiko:	
Gruvedrift	328
Bygg og anlegg	302
Jordbruk	277
Transportsektoren	164
Service næringer	47
All slags industri (gjennomsnitt)	74
Strålingsrelatert:	
Medisinsk røntgendiagnostikk (gjennomsnitt)	6
0,01 Sv yrkesrelatert stråledose (enkeltdose)	1
0,01 Sv/år stråledose i 30 år	30

114

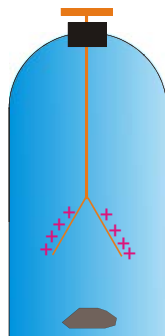
Dosegrenser

- Dosegrensene for yrkeseksponerte er:
 - ▶ Hele eller store deler av kroppen: 20 mSv/år.
 - ▶ Enkeltorganer:
 - Øyelinse: 150 mSv/år.
 - Hud, hender og føtter: 500 mSv/år
 - ▶ For gravide skal dosen til fosteret ikke overstige 1 mS for den resterende delen av svangerskapet.
- Dosegrensen for den øvrige befolkningen er 1 mSv/år.



115

Deteksjonsprinsipp



116

Detektortyper for måling av γ -stråling

- GM-teller (Geiger-Müller)
 - ▶ Gassfylt kammer.
 - ▶ Lite effektiv for γ -stråling, men billig.
 - ▶ Meget dårlig energiopløsning.
- NaI-detektor
 - ▶ γ -strålingen absorberes i et NaI-krySTALL som så sender ut en mengde lys proporsjonal til strålingens energi.
 - ▶ Høy deteksjonseffektivitet på grunn av at jod har høy Z.
 - ▶ Moderat energiopløsning, (topp-bredde på ca. 80-100 keV for 1332 keV γ -stråling).
- Ge-detektoren
 - ▶ Basert på halvlederteknologi - Ge-krySTALLet virker som en gigantisk transistor.
 - ▶ Meget god energiopløsning (topp-bredde på ca. 1,7 keV for 1332 keV γ -stråling).
 - ▶ Dårligere effektivitet enn NaI-detektoren, selv om Ge har forholdsvis høy Z. Detektoren må kjøles med flytende N₂.

117

Mor-datter relasjoner

Når en atomkjerne desintegrerer dannes en ny atomkjerne.

Den nye kjernen kan også være radioaktiv og har desintegrasjonshastighet:

$$A_2 = \frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

Datterens desintegrasjonshastighet
Tilvekst av datteren
Desintegrasjon av datteren

118

Radioaktiv likevekt

Hvis $T_{1/2}$ (mor) \gg $T_{1/2}$ (datter) vil:

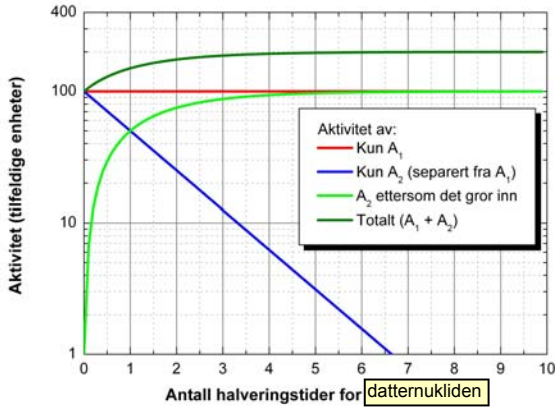
$$A_2 = A_1$$

(dette er forklart på side 9 og 10 i kompendiet)

Den radioaktive likevekten bruker ca. 10 datterhalveringstider på å innstille seg.

119

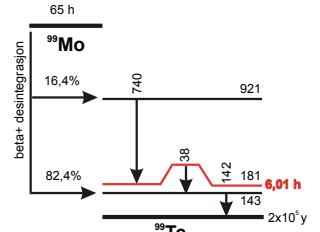
Sekulær likevekt



120

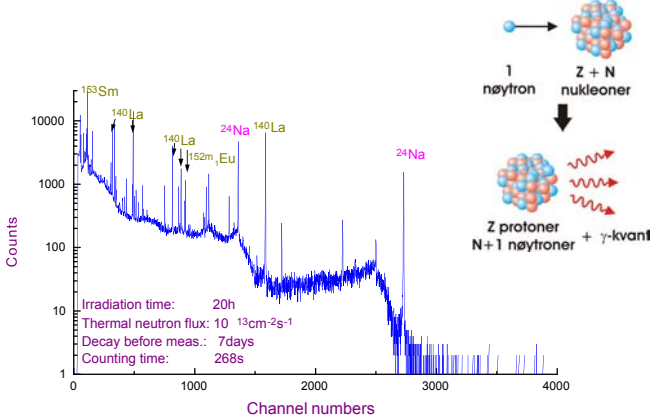
^{99m}Tc -"ku"

- ^{99}Mo ($T_{1/2} = 66$ timer) lages ved n-innfangning i en kjernereaktor: $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$.
- ^{99}Mo festes på en kolonne i en skjermet beholder.
- ^{99m}Tc ($T_{1/2} = 6$ timer) gror inn.
- ^{99m}Tc vil være på formen $^{99m}\text{TcO}_4^-$ (pertechnetat) og har andre kjemiske egenskaper enn Mo.
- Pertechnetatet vil ikke sitte fast på kolonnen - ^{99m}Tc kan melkes fra "kuen" ved å suge en saltvannsløsning gjennom kolonnen.



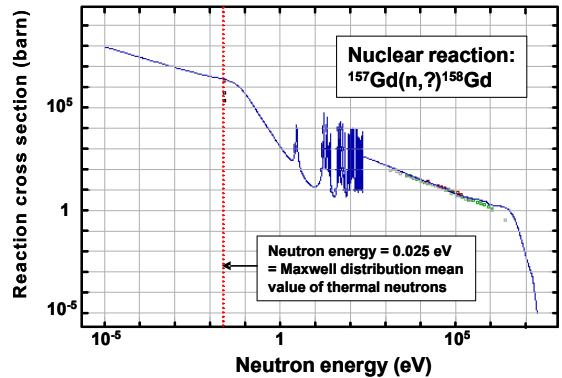
121

Nøytronaktivering



122

Nøytron energi



123

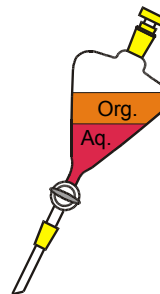
Følsomhet for n-aktiveringanalyse

Element	Nuclear reaction	Half-life	Cross sect.	Sensitivity
Na	$^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$	14.96 h	0.53 b	$8 \cdot 10^{-6} \mu\text{g}$
Al	$^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$	2.25 min	0.230 b	$3 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}$
Cl	$^{37}\text{Cl}(n,\gamma)^{38}\text{Cl}$	37.18 min	0.428 b	$2 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}$
V	$^{51}\text{V}(n,\gamma)^{52}\text{V}$	3.75 min	4.88 b	$3 \cdot 10^{-6} \mu\text{g}$
Mn	$^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$	2.58 h	13.3 b	$8 \cdot 10^{-6} \mu\text{g}$
Co	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	10.5 min	20 b	$3 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}$
Cu	$^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$	12.8 h	2.17 b	$1 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}$
As	$^{75}\text{As}(n,\gamma)^{76}\text{As}$	26.5 h	4.3 b	$5 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}$
In	$^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$	54 min	92 b	$3 \cdot 10^{-7} \mu\text{g}$
Sn	$^{122}\text{Sn}(n,\gamma)^{123}\text{Sn}$	40.1 min	0.180	$3 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}$
I	$^{127}\text{I}(n,\gamma)^{128}\text{I}$	25.0 min	6.2 b	$3 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}$
Eu	$^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152m}\text{Eu}$	9.3 h	3300 b	$6 \cdot 10^{-7} \mu\text{g}$
Hg	$^{196}\text{Hg}(n,\gamma)^{197}\text{Hg}$	24 h	120 b	$1 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}$
U	$^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{U}$	23.5 min	2.70 b	$1 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}$

n-flux = $10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$, deteksjon med NaI-detektor

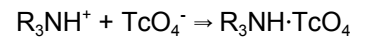
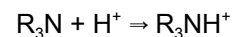
124

Kjemisk utbytte for væske-væske ekstraksjon



Tc på formen $^{99m}\text{TcO}_4^-$ (pertechnetat) ekstraheres over fra 0.1 M HNO_3 vannfase til organisk fase (toluen) ved at det dannes et kompleks med tri-octylamin.

Tri-octylamin er en meget god anionekstraktant i sure løsninger:



Kaliumbromat er tilsatt vannfasen for å stabilisere Tc i oksidasjonstrinn +7.

125

Bestemmelse av ekstraksjonsutbyttet

- Tc foreligger i ytterst små mengder, kun ca. 10^{-15} mol.
- Slike mengder er meget vanskelig å måle ved vanlige metoder, men enkelt å måle når speciet som skal bestemmes er radioaktivt.
- Ekstraksjonsutbyttet er gitt ved:

$$D = \frac{R_{org}}{R_{aq}}; \quad E = \frac{D}{D+1}$$