



Jon Petter Omtvedt

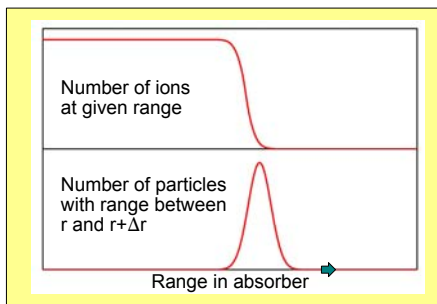
Nuclear Chemistry,  
Department of  
Chemistry  
University of Oslo

## Direkte ioniserende stråling

- Direkte ioniserende stråling er *stråler* av ladede partikler.
- Hovedsakelig vekselvirker disse partiklene med omgivelsene ved hjelp av Coulomb vekselvirkning.
- De ladede partiklene vekselvirker med *mange* atomer i mediet de går gjennom.
  - Dvs. at partiklene mister energien gradvis.
- Er mediet tykt nok vil partiklene tilslutt være helt nedbremset.
  - Dvs. at partiklene har en bestemt *rekkevidde* i materialet.

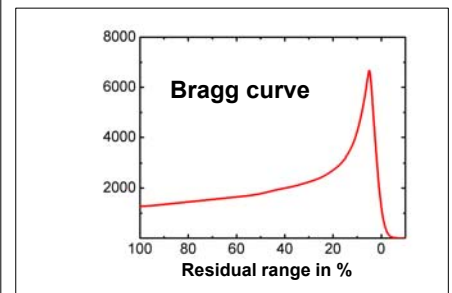
## Rekkevidde

- Nedbremsing av partiklene skjer ved at kinetisk energi overføres til atomer og molekyler i absorbatoren.
- Atomer/molekyler i absorbatoren blir derved
  - Ionisert
  - Eksitert
  - Flyttet (elastiske støtt).



## V.virkning mellom partikkel og absorbatoren

- For hver partikkel som bremses opp vil mange tusen atomer eksiteres og ioniseres.
- I tillegg vil partiklene forandre retning, noe som medfører bremsestråling.
  - Bremsestråling er svært svak elektromagnetisk stråling.



## Bremsestråling

$$f = 3,5 \cdot 10^{-4} Z \cdot E_{\beta, \max}$$

f er fraksjonen av  $\beta$ -energien som omvandles til bremsestråling, Z er absorbatorens atom-nummer og  $E_{\beta, \max}$  er  $\beta$ -partikkelens maksimale energi.

Pga. den kraftige økningen i mengden bremsestråling når Z øker, benyttes i praksis aldri tyngre grunnstoff enn aluminium (Z=13) for skjerming mot  $\beta$ -stråling.

## Indirekte ioniserende stråling

- Uladede partikler, i praksis  $\gamma$ -kvant eller nøytroner, vil ikke vekselvirke på samme måte som ladede partikler gjør (Coulomb vekselvirkning).
- Et  $\gamma$ -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  $\gamma$ -kvant (Compton vekselvirkning).
- Har  $\gamma$ -kvantet energi på mer en 1,022 MeV vil man også kunne få såkalt pardannelse.

$\gamma$ -kvant mister ikke energien sin gradvis, slik som ladede partikler gjør. De har konstant energi inntil en vekselvirkning finner sted.

## Absorpsjon av $\gamma$ -stråling

- $\gamma$ -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.
- Dette er en statistisk prosess, der sannsynligheten for at et kvant skal absorberes uttrykkes ved absorpsjonskoeffisienten,  $\mu$ .
- Man kan da finne ut at strålens intensitet etter å ha passert en gitt tykkelse absorbator er gitt ved:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

der  $x$  er veilengden strålingen har gått gjennom absorbatoren,  $I_0$  er opprinnelig intensitet og  $I(x)$  er intensiteten etter at strålen har passert absorbatoren.

## Halverditykkelse

- I stedet for absorpsjonskoeffisienten,  $\mu$ , benytter man ofte heller *halverditykkelse*,  $d_{1/2}$ .
- Halverditykkelsen er tykkelsen på en gitt absorbator som skal til for å redusere strålens intensitet til halvparten.
- (Formelapparatet er helt analogt med den for desintegrasjonshastighet.)
- Vi har følgende sammenheng mellom halverditykkelse og absorpsjonskoeffisient.

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Merk at en  $\gamma$ -stråle aldri kan stoppes 100%!

## Sekundærprosesser (ved $\gamma$ -absorpsjon)

- Når et  $\gamma$ -kvant helt eller delvis overfører sin energi til et elektron vil dette få tilsvarende mye kinetisk energi (minus bindings-energien, som er neglisjerbar).
- Et slikt elektron vil oppføre seg helt likt med en  $\beta$ -partikkel.
- Som en sekundærprosess vil vi derfor få en rekke direkte ioniserende høyenergetiske elektroner langs strålebanen til  $\gamma$ -kvantene.
- I forhold til  $\gamma$ -strålen har disse elektronene kort rekkevidde, og de vil derfor ionisere og eksitere atomene i absorbatoren i et spor langsmed  $\gamma$ -strålen.

## Ioniserende stråling - oppsummering

### Stråler av ladede partikler:



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

### $\gamma$ -stråling:



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

**Strålevern (I)**  
(Torsdag 8-10)

**Stråledose**

**Jon Petter Omtvedt**  
Nuclear Chemistry,  
Department of  
Chemistry  
University of Oslo

## Stråledose

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

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

## Den biologiske doseekvivalenten

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

Strålingstype	Kvalitetsfaktor
200-250 keV røntgen	1
$\gamma$ -kvant, $\beta$ -partikler og elektroner	1
Termaliserte nøytroner (< 0.8 MeV)	3
Hurtige nøytroner (>0.8 MeV), protoner og $\alpha$ -partikler	10
Tunge ioner	20

Enheten for den biologiske doseekvivalenten er Sievert (Sv).

## Den effektive doseekvivalenten

$$H_{\text{eff}} = f \cdot H$$

Den effektive doseekvivalenten angis i Sievert (Sv).

## Intern bestråling - ALI verdier

- Det er vanskelig å beregne doser, spesielt ved intern bestråling.
- ICRP har laget en tabell over ALI verdier som gjør det lettere å beregne interne doser.
- ALI strå for *Annual Limit on Intake*.
- ALI angir den aktivitetmengden som ved inntak vil gi en dose på 20 mSv.
- 20 mSv er den maksimale dosen som er tillatt pr. år for hele kroppen (effektiv dose), for de som arbeider med stråling.
- Til sammenligning: Bakgrunnstrålingen gir oss omtrent 1 mSv dose pr. år.

## Source for ALI values

- ICRP has made tables with ALI values which makes it much easier to estimate internal doses.
- The ALI tables are easy to use, but based on sophisticated and complex calculations.

ICRP = International Commission on Radiological Protection

## Biologisk halveringstid

- Har man fått i seg en strålingskilde, er det ikke nødvendigvis slik at den vil forbli i kroppen inntil den desintegrerer.
- Er halveringstiden lang er det ikke usannsynlig at mesteparten av kilden vil skilles ut før den rekker å desintegrere.
- Dette er helt avhengig av hvilken nuklide det er snakk om og på hvilken kjemisk form den foreligger.
- Den tiden man utsettes for intern bestråling er derfor avhengig av både nuklidens halveringstid og den biologiske utskilleleshastigheten.

## ALI - eksempel

Strålingstype	ALI-verdi (Bq)	
	Ved svelg:	Innpusting:
Tritium ( $^3\text{H}$ )	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$
Karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ )	$4 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$
Fosfor-32 ( $^{32}\text{P}$ )	$1 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^6$
Svovel-35 ( $^{35}\text{S}$ )	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^8$
131-Jod ( $^{131}\text{I}$ )	$1 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^5$

Det er i grunnen greit å ikke få i seg for mye radioaktive stoffer....!

## Eksempler på stråledose

- Bakgrunnstråling ca. 1 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).
- Skjelletundersøkelse med 600 MBq <sup>99m</sup>Tc gir ca. 3,5 mSv.

## Effekter av stråledoser

- Kraftige stråledoser medfører nesten øyeblikkelige sykdomssymptomer. Dette kaller vi deterministiske effekter.
  - ▶ Dvs. at stråledose medfører sykdom helt sikkert.
- For både svake og sterke stråledoser er det en hvis sannsynlighet for at man senere utvikler sykdommer (først og fremst ulike kreftsykdommer). Dette kaller vi stokastiske effekter.
  - ▶ Stokastisk betyr her tilfeldig.



Massemediene og useriøse aktører skaper en ubegrunnet frykt for radioaktivitet...

## 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 strålingssyke, som er:
  - ▶ Kvalme.
  - ▶ Oppkast.
  - ▶ Hodepine.
  - ▶ Tap av hvite blodlegmer.

## Virkelig store doser

- Doser på mer enn 3 Sv eller mer forårsaker midlertidig hårtap, men også mer alvorlig interne skader.
- Eksempler på slike indre skader er ødelagte nerveceller og alvorlig tap av hvite blodlegmer.
- Reduksjonen av mengden hvite blodlegmer medfører sterkt øket risiko for infeksjoner og smitte.
- Stråling reduserer også produksjonen av blodplater, som hjelper til med blod-koagulering. Offere for strålesyke er derfor svært utsatt for blødninger.

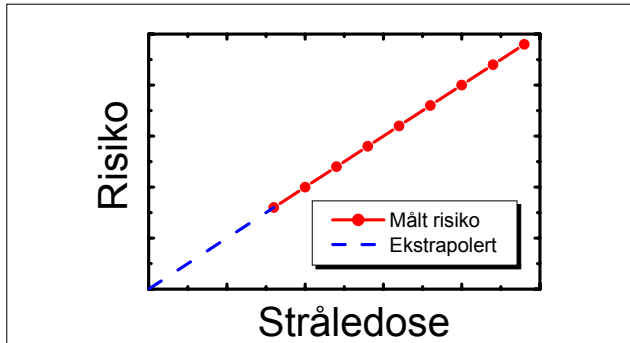
## Dødelige doser

- Halvparten av de som eksponeres til en dose på 4,5 Sv dør.
- Doser over 8 Sv medfører alltid død. Det finnes ikke noen behandling for effektene av slike stråledoser, pasienten vil dø innen 2 til 14 dager.
- For de som overlever store doser er sannsynligheten for kreftsykdommer stor.

## Spørsmål:

- En person arbeider med et kraftig preparat (37 MBq) av <sup>32</sup>P.
- Ved et uhell eksploderer en flaske eter i avtrekkskapet
- Hele løsningen med <sup>32</sup>P sprutet utover alt, mesteparten på labfrakken til den uheldige personen.
- Det er full brann i avtrekkskapet.
- Personen får sjokk og siger sammen på gulvet foran avtrekkskapet med tydelig pustebesvær.
- Du stod og arbeidet på andre siden av labben.
- Hva gjør du?

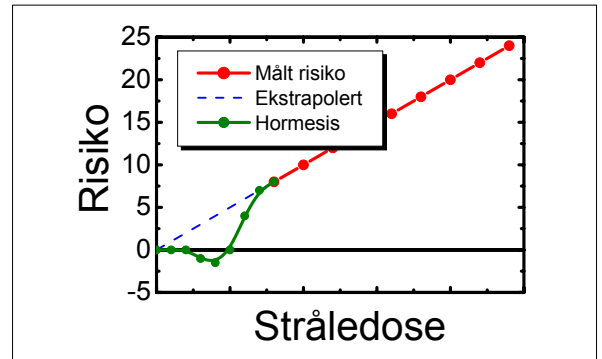
## Beregning av stråledoseeffekter



KJM 5900 Høsten 2005

Slide 65

## Hormesis?



KJM 5900 Høsten 2005

Slide 66

## Tap av forventet livslengde

Årsak/kilde:	Gjennomsnittlig livslengde tap (dager):
<i>Helskerisiko:</i>	
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
<i>Yrkesrisiko:</i>	
Gruvedrift	328
Bygg og anlegg	302
Jordbruk	277
Transportsektoren	164
Service næringer	47
All slags industri (gjennomsnitt)	74
<i>Strålingsrelatert:</i>	
Medisinsk røntgen diagnostikk (gjennomsnitt)	6
0,01 Sv yrkesrelatert stråledose (enkelt dose)	1
0,01 Sv/år stråledose i 30 år	30

KJM 5900 Høsten 2005

Slide 67

## Summary & Norwegian Terms

$$\text{Radiation Dose} = \frac{\text{energy}}{\text{mass}}; \quad D = \frac{E}{m}$$

Unit gray (Gy), 1 Gy = 1 J / kg.

The Biological Dose Equivalent  $H = D \cdot Q \cdot N$

The Effective Dose Equivalent  $H_{\text{eff}} = f \cdot H$

Unit Sievert (Sv).



Radiation dose = Stråledose  
 Dose rate = dosehastighet  
 Biological Dose Equivalent = Biologisk doseekvivalent  
 Effective Dose Equivalent = Effektiv doseekvivalent  
 Quality factor = Kvalitetsfaktor

KJM 5900 Høsten 2005

Slide 68