

Innhold

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduksjon | 3 |
| 1.1 | Elektromagnetisk stråling | 3 |
| 1.2 | Partikkelstråling | 4 |
| 1.3 | Biologisk effekt av stråling | 4 |
| 2 | Radioaktivitet | 5 |
| 2.1 | Levetiden til ustabile isotoper | 5 |
| 2.2 | Kilder til radioaktiv stråling | 6 |
| 2.3 | α -stråling | 6 |
| 2.4 | β -stråling | 7 |
| 2.5 | γ -stråling | 7 |
| 2.6 | Nøytron-stråling | 7 |
| 2.7 | Biologisk effekt av radioaktiv stråling | 7 |
| 2.7.1 | Aktivitet | 8 |
| 2.7.2 | Absorbert dose | 8 |
| 2.7.3 | Ekvivalent dose | 9 |
| 2.7.4 | Effektiv dose | 9 |
| 3 | Ultrafiolett stråling | 11 |

Kapittel 1

Introduksjon

Stråling er et begrep som favner ganske vidt, men vanligvis når man snakker om stråling er det snakk om enten elektromagnetisk stråling eller partikkelstråling. Unntaksvis snakkes det også om akkustisk stråling (lyd). Felles for alle typer stråling er at det er overføring av energi med stor hastighet og i rette linjer. For partikkelstråling overføres også masse.

1.1 Elektromagnetisk stråling

Elektromagnetisk stråling er energi som overføres i form av elektromagnetiske bølger. Avhengig av bølgelengde karakteriseres den elektromagnetiske strålingen som (fra lengst til kortest bølgelengde)

- Radiobølger
- Mikrobølger
- Infrarød (IR) stråling
- Lys
- Ultrafiolett (UV) stråling
- Røntgenstråling
- Gamma-stråling

Bølgelengdene til elektromagnetisk stråling følger en kontinuerlig skala. Dette innebærer at det ikke er skarpt definerte skiller mellom hvilke bølgelengder som faller inn i hvilken av de ulike kategoriene. På grunn av måten gamma-stråling vanligvis dannes tas denne type stråling ofte med under radioaktiv

stråling selv om den ikke er vesensforskjellig fra andre typer elektromagnetisk stråling.

Alle typer elektromagnetiske bølger beveger seg alltid med hastighet $c = 3.00 \times 10^8$ m/s når forplantningen skjer i vakuum. Hastigheten c omtales ofte som lyshastigheten (underforstått lyshastigheten i vakuum). Når elektromagnetiske bølger forplanter seg gjennom et medium vil de bevege seg med hastighet mindre enn c . Hvor stor hastighetsreduksjonen er avhengig av hvilket medium de elektromagnetiske bølgene beveger seg i og i en del tilfeller også av bølgelengden.

1.2 Partikkelstråling

Partikkelstråling er atomkjerner eller sub-atomære partikler som beveger seg med stor hastighet. De viktigste naturlige kildene til partikkelstråling er radioaktive prosesser og kosmisk stråling. Kunstig akselererte partikler brukes i forskningsøyemed og til kreftbehandling.

1.3 Biologisk effekt av stråling

Alle typer stråling vil avsette energi i biologisk materiale, men hvordan og i hvilken grad energien avsettes har stor betydning for den biologiske effekten. I dette kompendiet diskuteres i hovedsak negative biologiske effekter av stråling, og da er det først og fremst høy-energetisk stråling som er av interesse. Hvis strålingen—uavhengig av type—har tilstrekkelig energi til å slå løs elektroner fra atomkjernen de er bundet til kaller vi strålingen ioniserende. I det elektromagnetiske spekteret er det røntgen-stråling og gamma-stråling som er ioniserende, mens alle typer partikkelstråling der partiklene er ladde kan være ioniserende gitt at energien er tilstrekkelig stor. Siden det er elektronene som binder atomene sammen til molekyler vil ioniserende stråling kunne forårsake skade på biologisk materiale.

DNA-molekyler avhenger av hydrogenbindinger som er så svake at det kreves langt mindre energi å bryte de opp enn det som skal til for å ionisere atomene. Dette gjør at også UV-stråling kan ha betydelig negativ effekt på biologisk materiale.

Elektromagnetisk stråling med kortere bølgelengde enn UV har ingen akkutt negativ virkning slik som den høyenergetiske strålingen. Men også denne strålingen vil avsette energi, og om denne energiavsetningen blir stor nok vil det gi oppvarming av vevet som potensielt sett kan være skadelig.

Kapittel 2

Radioaktivitet

De fleste isotoper er stabile—det vil si de endrer ikke karakter med mindre de blir utsatt for en ytre påvirkning som endrer dem. Imidlertid er det noen isotoper som er ustabile. Slike isotoper vil spontant endre seg enten ved å

- sende ut en heliumkjerne bestående av 2 protoner og to nøytroner (α -partikkel),
- omgjøre et nøytron til et proton samtidig som det sendes ut et elektron (β -partikkel),
- omgjøre et proton til et nøytron samtidig som det sendes ut et positron (β^+ -partikkel),
- omgjøre et proton til et elektron ved å fange et av elektronene rundt isotopkjernen (β -innfangning),
- spaltes i to isotopkjerne + et antall nøytroner (fisjon).

Enkelte av prosessene etterlater isotopkjernen i en eksitert tilstand. Da vil den etter kort tid henfalle til grunntilstanden samtidig som det sendes ut et høy-energetisk foton (γ -stråling). Hvilken prosess som skjer og hvor lenge isotopet eksisterer før det skjer avhenger av hvilket isotop vi starter med.

2.1 Levetiden til ustabile isotoper

Henfallet av ustabile isotoper er såvidt vi vet en fullstendig tilfeldig prosess—det vil si at det er ikke på noen måte mulig å forutsi akkurat når henfallet vil skje. Hver enkelt type ustabil isotop har imidlertid en gjennomsnittlig

levetid, τ . Hvis vi starter med N_0 atomer¹ vil antallet atomer som ikke har henfalt etter tid t være

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}. \quad (2.1)$$

Ofte snakker man om halvveringstiden til de ustabile isotopene i stedet for levetiden. Halvveringstiden $t_{1/2}$ er den tiden det tar før halvparten av isotopene har henfalt. Fra ligning (2.1) finner vi da

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-t_{1/2}/\tau}$$

som viser at sammenhengen mellom levetid og halvveringstid er

$$t_{1/2} = \tau \ln 2. \quad (2.2)$$

For ulike ustabile isotoper kan halvveringstiden til variere fra små brøkdeler av et sekund til lenger enn universets levetid.

2.2 Kilder til radioaktiv stråling

2.3 α -stråling

α -stråling består av heliumkjerner—det vil si atomkjerner med 2 protoner og 2 nøytroner—og de har da elektrisk ladning $+2e$. Den elektriske ladningen gjør at α -partiklene kan ionisere atomer. I tillegg vil de—siden de består av protoner og nøytroner—også vekselvirke via den sterke kjernekräften. Kombinasjonen av stor masse (sammenlignet med massen f.eks. elektroner) og sterk kjernekraft gjør at det kreves lite materiale for å stanse α -stråling. For α -stråling med energi som man typisk får fra radioaktive henfall vil partikkelen stoppes av noen få cm luft, eller et papirark. Den praktiske konsekvensen av dette er at det er enkelt å skjerme seg mot α -stråling. Til gjengjeld vil α -stråling avsette energien sin i et konsentrert område om den ikke er skjermet, og kan da gi betydelig vev-skade. Dette gjør at radioaktive stoffer som henfaller ved å sende ut α -stråling først og fremst er farlig hvis de kommer direkte kontakt med huden eller kommer inn i kroppen. Sistnevnte er spesielt aktuelt med radon-gass som pustes inn.

¹Vi antar i denne diskusjonen at antall atomer vi starter med er stort nok til at statistiske fluktuasjoner er neglisjerbare.

2.4 β -stråling

β -stråling er elektroner eller positroner som sendes ut fra kjernen ved at et nøytron gjøres om til et proton eller omvendt. Ladningen til β -strålene er $\pm e$. Siden elektroner og positroner ikke kjenner den sterke kjernekraften er β -stråler vanskeligere å skjerme seg mot enn α -stråling, men den lave partikkelmassen gjør at β -strålene likevel lar seg stoppe relativt enkelt. Likevel trengs det vestentlig bedre skjerming for å stanse β -stråling enn α -stråling. For typiske energier fra radioaktiv henfall trengs det fra under en mm til noen cm metall (mindre tykkelse jo større massetetthet metallet har) for å stanse β -stråling.

2.5 γ -stråling

γ -stråling er høyenergetiske elektromagnetisk stråling som sendes ut fra atomkjernen. Strålingen sendes ut når en eksitert kjerne går ned til grunntilstanden. Den eksiterte kjernen er som regel et resultat av enten et tidligere β -henfall eller en elektron-innfanging—det vil si at et av elektronene til atomet fanges inn i kjernen og bidrar til at et proton gjøres om til et elektron. Dette betyr at radioaktive stoffer som er kilde til β -stråling vanligvis også er kilde til γ -stråling. Siden fotoner ikke har elektrisk ladning, og ikke merker de sterke kjernekraftene, er γ -stråling vesentlig vanskeligere å skjerme seg mot enn α - og β -stråling.

2.6 Nøytron-stråling

Nøytron-stråling regnes vanligvis ikke med blant når man diskuterer radioaktiv stråling, men er likevel en viktig form for partikkelstråling som oppstår i fisjonsprosesser.

2.7 Biologisk effekt av radioaktiv stråling

Alle typer radioaktiv stråling er i stand til å ionisere atomer og kan derfor skade biologisk vev. Hvor stor skadevirkningen er avhenger både av hvilken type stråling det er, energien til hver enkelt partikkel, og selvfølgelig intensiteten—altså hvor mange partikler man blir truffet av. Når man diskuterer eksponering for radioaktiv stråling er det en rekke ulike fysiske størrelser som er i bruk. En del av de viktigste er oppsummert her [1].

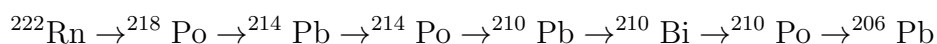
2.7.1 Aktivitet

Aktiviteten måler hvor ofte et radioaktivt henfall skjer, og gir derfor et mål på intensiteten av den radioaktive strålingen. Aktivitet tar ikke hensyn til hva slags type radioaktiv stråling vi har, bare hvor ofte det skjer radioaktive henfall. Måleenheten for aktivitet er bequerel ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$). En eldre måleenhet man noen ganger treffer på er Curie ($1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$). Siden aktiviteten måler hvor ofte et radioaktivt henfall skjer avhenger den både av hvilken radioaktiv isotop vi har med å gjøre på grunn av halvveringstiden, og hvor mye vi har av den aktuelle isotopen.

Vi kan finne et uttrykk for aktiviteten fra ligning (2.1). Denne ligningen forteller oss hvor mange atomer det er på et gitt tidspunkt. Aktiviteten uttrykker endringsraten, og beskrives altså av den deriverte. Siden antallet atomer avtar, og vi ønsker å uttrykke aktiviteten med et positivt tall må vi definere aktiviteten lik minus den deriverte:

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \frac{N_0}{\tau} e^{-t/\tau}.$$

Vi ser at aktiviteten avtar over tid, slik det må være siden radioaktive henfall gjør at vi sitter igjen med færre av de radioaktive atomene. Her må det imidlertid bemerkes at ofte er atomet vi sitter igjen med etter det radioaktive henfallet selv radioaktivt. Mange radioaktive stoffer må gjennom en lang henfallskjede før vi sitter igjen med stabile atomkjerne. Hvis vi for eksempel starter med radon har vi følgende kjede:



der først ^{206}Pb er en stabil kjerne. Hvis vi skal regne ut aktiviteten til et materiale som funksjon av tid må vi altså ikke bare ta hensyn til det første steget i henfalls-kjeden men også hva vi etter hvert har av de andre stoffene.

2.7.2 Absorbert dose

Absorbert dose måler hvor mye energi ioniserende stråling avgir i et volum, normalisert med hvor mye masse som er i dette volumet. Måleenheten for absorbert dose er gray ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$). En eldre enhet man kan treffe på er rad ($1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$). Siden absorbert dose forteller om størrelsen på energiavsetningen er den nyttig for å beskrive skadepotensialet til den radioaktive strålingen, men den tar ikke hensyn til at ulike typer radioaktiv stråling har ulik biologisk virkning.

| Strålingstype | w_R |
|--|------------------------------------|
| Fotoner, elektroner, myoner | 1 |
| Nøytroner, $E_n < 1$ MeV | $2.5 + 18.2e^{-(\ln E_n)^2/6}$ |
| $1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV}$ | $5.0 + 17.0e^{-(\ln 2E_n)^2/6}$ |
| $E_n > 50 \text{ MeV}$ | $2.5 + 3.25e^{-(\ln 0.04E_n)^2/6}$ |
| Protoner og ladde pioner | 2 |
| α -partikler og tyngre ioner | 20 |

Tabell 2.1: Vektfaktorer for ulike strålingstyper. [1]

2.7.3 Ekvivalent dose

Ekvivalent dose ligner på absorbert dose, men tar også med en vektfaktor som tar hensyn til ulik biologisk virkning av ulike stråling. Enheten for ekvivalent dose er sievert (Sv). Man kan også treffe på enheten rem ($1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$). Om man eksponeres for en eller flere typer radioaktiv stråling med absorbert dose $D_{T,R}$ av type R i organ T beregnes den ekvivalente dosen som

$$H_T = \sum_R w_R \times D_{T,R}, \quad (2.3)$$

der w_R er en vektfaktoren som tar hensyn til ulik virkning av ulike typer stråling. Tabell 2.1 lister opp vektfaktorene for de ulike strålingstypene.

2.7.4 Effektiv dose

Effektiv dose ligner på ekvivalent dose, men tar også med i beregningen at ulike organer har ulik sårbarhet for radioaktiv stråling. Den effektive dosen beregnes som

$$E = \sum_T w_T \times H_T, \quad (2.4)$$

der w_T ($\sum_T w_T = 1$) er vektfaktoren for organ T . I likhet med absorbert dose måles også effektiv dose i sievert. Tabell 2.2 lister opp vektfaktorene for de ulike typene kroppsvev.

| Kroppsvev | vektfaktor w_T | Sum av w_T |
|---|------------------|--------------|
| Beinmarg, tarm, lunge, magesekk, bryst, annet kroppsvev | 0.12 | 0.72 |
| Gonader | 0.08 | 0.08 |
| Blære, spiserør, lever, skjoldkjertel | 0.04 | 0.16 |
| Beinoverflate, hjerne, spyttkjertler, hud | 0.01 | 0.04 |
| Total | | 1.00 |

Tabell 2.2: Vektfaktorer for ulike kroppsvev [2].

Kapittel 3

Ultrafiolett stråling

Ultrafiolett stråling har for lite energi-rike fotoner til å ionisere atomer, men kan likevel gjøre skade på kroppsvev. Den viktigste skademekanismen er produksjon av tymin-dimerer i DNA-molekylene våre [3]. Tymin-dimerer er sammenkobling av to tymin-baser som er plassert ved siden av hverandre i DNA-strengen. Produksjon av tymin-dimerer hindrer replisering av DNA-strengen. Grunnen til at UV-lys kan forårsake slike skader i DNA'et er at basene fra hver side av DNA-molekylet er bundet sammen med hydrogenbindinger som det kreves relativt lite energi for å bryte.

Bibliografi

- [1] K. A. Olive et al. Review of Particle Physics. *Chin. Phys.*, C38:090001, 2014.
- [2] A D Wrixon. New ICRP recommendations. *Journal of Radiological Protection*, 28(2):161, 2008.
- [3] THE VIRTUAL EDGE: Lab 8 Control of Microbial Growth I. http://www.uwyo.edu/virtual_edge/lab08/uv_theory.htm. Accessed: 2017-09-21.