

# FY7 Ydinsäteily ja ionisoiva säteily

Tapio Hansson

# Ionisoiva säteily

- ▶ Milloin säteily on ionisoivaa?
  - ▶ Kun säteilyllä on tarpeeksi energiaa irrottaakseen aineesta elektroneja tai rikkoakseen molekyylejä.
- ▶ Ionisoivan säteilyn lajit:
  - ▶ Sähkömagneettisesta säteilystä: UV-, röntgen- ja gammasäteily
  - ▶ Hiukkassäteily:  $\alpha$ -,  $\beta$ -, ja neutronisäteily
- ▶ Ionisoidakseen ainetta säteilyllä olevan energian tulee olla vähintään 5-15 eV.
- ▶ Sähkömagneettiselle säteilylle on määritelty raja vesimolekyylin ionisaatioenergian mukaan: 12.6 eV.

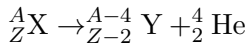
$$E = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4.135 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 299792458 \text{ m/s}}{12,6 \text{ eV}} \approx 98 \text{ nm}$$

## Ionisoivan säteilyn vaikutuksia

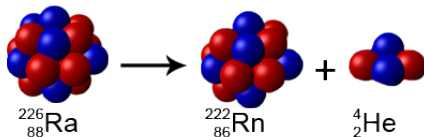
- ▶ Ionisoiva säteily voi käynnistää elimistössä sarjan prosesseja, alkaen atomaariselta tasolta, edeten soluun, kudokseen ja koko kehoon.
- ▶ Säteily vahingoittaa soluja ja osuessaan dna:han saattaa aiheuttaa mutaatioita.
- ▶ Pienten annosten vaikutukset ovat niin epätodennäköisiä, että ne havaitaan vain tilastollisin menetelmin.
- ▶ HUOM! Altistumme kaiken aikaa pienille määriille ionisoivaa säteilyä.
- ▶ Suuret annokset voivat aiheuttaa kudsvaurioita ja jopa kuoleman.

## $\alpha$ -säteily

- ▶  $\alpha$ -säteily on peräisin radioaktiivisen ytimen hajoamisesta.
- ▶  $\alpha$ -hiukkanen on helium-atomin ydin  ${}^4_2\text{He}$
- ▶ Reaktioyhtälö:



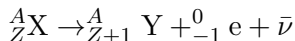
- ▶ Ytimen massaluku pienenee neljällä ja järjestysluku kahdella.



**Kuva:** Radiumin  $\alpha$ -hajoaminen. Lopputuotteena syntyy radonia.  
public domain

## $\beta$ -säteily

- ▶ Ytimen  $\beta$ -hajoaminen voi tapahtua joko  $\beta^-$  tai  $\beta^+$ -hajoamisena.
- ▶  $\beta^-$ -hajoamisessa yksi ytimen neutroni muuttuu protoniksi ja emittoi elektronin. Vastaavasti  $\beta^+$ -hajoamisessa ydin emittoi elektronin antihiuksasen *positronin*.
- ▶  $\beta^-$ -hajoamisen reaktioyhtälö



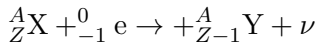
- ▶  $\beta^+$ -hajoamisen reaktioyhtälö



- ▶ Elektronin ja positronin lisäksi ytimestä emittoituu antineutriino tai neutriino leptoniluvun säilymislain vuoksi.

# Elektronisieppaus

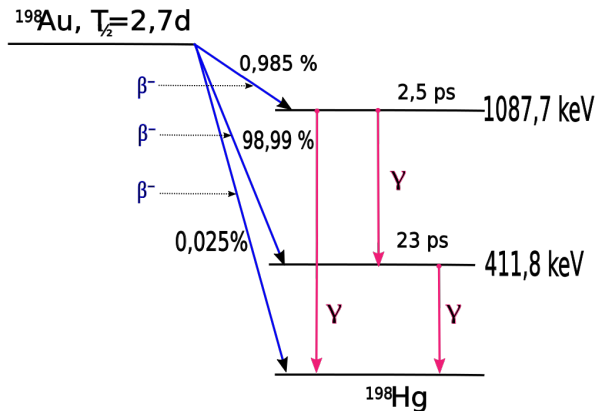
- ▶ Elektronisieppaus on ydinreaktio, jossa yksi alimpien kuorien elektroneista ”tipahtaa” ytimeen ja muuttaa yhden protoneista neutroniksi.
- ▶ Tällöin emittoituu neutriino, mutta ei varsinaista ydinsäteilyä



- ▶ Syntynyt ydin jää kuitenkin käytännössä aina virittyneeseen tilaan, jolloin se emittoi gammasäteilyä.
- ▶ Elektronisieppaus on mahdollista vain raskaammilla ytimillä, joiden sisimmät elektronit ovat lähempänä ydintä.
- ▶ Lisäksi atomi emittoi röntgensäteilyä syntyneen elektroniaukon täytyessä.

## $\gamma$ -säteily

- ▶ Gammasäteilyä syntyy kun ytimien viritystilat purkautuvat.
- ▶ Ydin jää käytännössä kaikkien radioaktiivisten hajoamisten jälkeen virittyneeseen tilaan.



## Säteilyn läpäisykyky

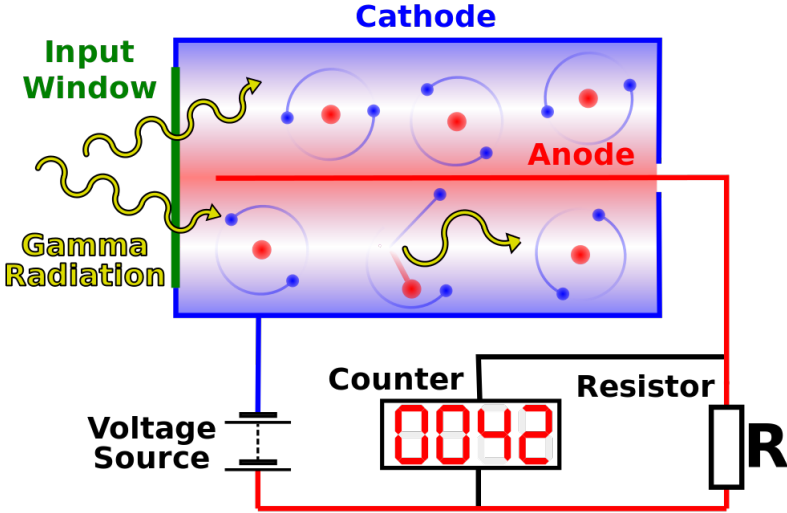
- ▶  $\alpha$ -säteily koostuu raskaista varatuista hiukkasista, joten se myös pysähtyy hyvin nopeasti. Se kulkee ilmassa vain muutamia senttejä ja pysähtyy jo paperiin.
- ▶  $\beta$ -säteily on myös varattua, joten se vuorovaikuttaa myös nopeasti. Se kulkee ilmassa kymmeniä senttejä ja pysähtyy kokonaan metallisiin esteisiin.
- ▶ Gammasäteily on sähkömagneettisena säteilynä äärimmäisen läpitunkevaa ja vuorovaikuttaessaan erittäin haitallista.
- ▶ Sitä voi kuitenkin käyttää esim. merkkiaineena kuvantamisessa, sillä se tunkeutuu liiemmin vuorovaikuttamatta ulos kehosta.



# Säteilyn mittaaminen

- ▶ Säteilyä mitataan erilaisilla säteilyilmaisimilla.
- ▶ Pitkän aikavälin seuranta voidaan tehdä esim. filmidosimetrilla, jossa säteily jättää jäljen valokuvauspaperiin.
- ▶ Tätä käytetään esim. kotitalouksien radon-kartoituksessa tai säteilyalttiilla työpaikoilla vaatteisiin kiinnitettynä seurantakorttina.
- ▶ Läsänä oleva säteily voidaan havaita nopeasti Geiger-laskurin avulla.,

# Geiger-laskuri



# Säteilyannos

- ▶ Ihmisen saamaa säteilyannosta voidaan tutkia kahdella tavalla.
- ▶ *Absorboitunut annos* kuvaa absoluuttista energiamäärää, joka säteilystä jää kudokseen.
- ▶ Ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos kuvaavat paremmin säteilyn haitallisuutta.

## Absorboitunut annos $D$

- ▶ Absorboituneen energian suuruutta kuvaa kaksi suuretta: Kerma (K) ja Cema (C).
- ▶ Kerma (Kinetic energy release per mass unit) kuvaa *varauksettomien* hiukkasten luovuttamaa energiaa.
- ▶ Cema (Converted energy per unit mass) kuvaa energiaa, jonka varaukselliset hiukkaset menettävät kohteen atomeihin.
- ▶ Molempien yksikkö on  $1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy}$  (Grey).
- ▶ Absorboitunut annos kuvaa siis suoraan yhteen kilogrammaan absorboituneen energian määrää.

# Absorboituneiden annosten vaikutuksia

- ▶ 1-2 Gy: Säteilysairaus
- ▶ 2-6 Gy: Hengenvaarallinen annos, voi pelastua hoidolla
- ▶ >12 Gy: Potilas menehtyy viimeistään 2 viikon kuluessa
- ▶ >50 Gy: Potilas menehtyy 2 päivässä

## Ekvivalenttiannos $H_T$

- ▶ Absorboitunut annos kuvaa vain energiamäärää, ei kunnolla säteilyn haitallisuutta, ts. eri säteilylajeilla on erilaisia biologisia vaikutuksia.
- ▶ Esim. 0,1 Gy  $\alpha$ -säteilyä on huomattavasti haitallisempaa kuin vastaava määrä  $\beta$ - tai  $\gamma$ -säteilyä.
- ▶ Jokaisella säteilylajilla on oma painokerroin.



$$H_T = w \cdot D$$

eli ekvivalenttiannos saadaan kertomalla absorboitunut annos painokertoimella.

- ▶ Fotonien ja elektronien ( $\gamma$ , röntgen ja  $\beta$ ) kerroin on 1.  $\alpha$ -säteilyn ja fissiona syntyneiden ytimien 20.

## Ekvivalenttiannoksen yksikkö

- ▶ Ekvivalenttiannoksen yksikkö on edelleen J/kg, mutta nyt sitä kutsutaan erikoisnimellä sievert (Sv).
- ▶ Säteilylajikohtainen painokerroin on siis yksikötön.
- ▶ Useimmiten törmää millisieverteihin (mSv) ja mikrosieverteihin  $\mu\text{Sv}$ .
- ▶ Yhden sievertin annos lisää siis syöpäriskiä yhtä paljon riippumatta säteilylajista.
- ▶ 1 sievertin altistus lyhyessä ajassa aiheuttaa säteilynsairausoireita ja 8 sievertiä voi johtaa jo kuolemaan.

## Efektiivinen annos $E$

- ▶ Jotta säteilyn vaikutuksia saadaan kuvattua vielä tarkemmin, tulee huomioida myös kohdekudos, sillä kaikki kudokset eivät ole yhtä herkkiä.
- ▶ Efektiivinen annos saadaan kertomalla ekvivalenttiannos kudokskohtaisella painokertoimella  $W_T$

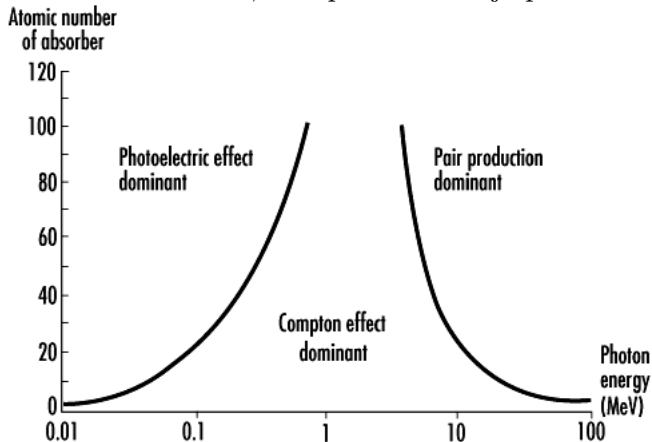
$$E = W_T \cdot H_T.$$

- ▶ Esimerkkejä painokertoimista:
  - ▶ iho ja luun pinta 0,01
  - ▶ kilpirauhanen, virtsarakko 0,05
  - ▶ luuydin, keuhkot, mahalaukku 0,12
  - ▶ kivekset ja munasarjat 0,20



# Vaikutusmekanismit

Aine ja säteily vuorovaikuttavat kolmella mekanismilla, jotka ovat Valosähköinen ilmiö, Comptonin ilmiö ja parinmuodostus.



# Lineaarinen absorptiolaki

Säteily vaimenee aineessa absorptiolain mukaisesti:

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

jossa  $I$  on säteilyn intensiteetti väliaineen jälkeen,  $I_0$  säteilyn intensiteetti ennen väliainetta,  $x$  väliaineen paksuus ja  $\mu$  väliainekohtainen lineaarinen vaimenemiskerroin.

Lineaarinen vaimenemiskerroin riippuu säteilylajista ja väliaineen materiaalista.

Materiaalin puoliintumispaksuudeksi kutsutaan paksuutta jonka jälkeen säteilyn intensiteetti on laskenut puoleen.