

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: α -, β -, ja neutronisäteily
- ▶ Ionisoidakseen ainetta säteilyllä olevan energian tulee olla vähintään 5-15 eV.
- ▶ Sähkömagneettiselle säteilylle on määritelty raja vesimolekyylin ionisaatioenergian mukaan: 12,6 eV.

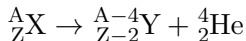
$$E = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4,135 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 299792458 \text{ m/s}}{12,6 \text{ eV}} \approx 98 \text{ nm}$$

Ionisoivan säteilyn vaikutuksia

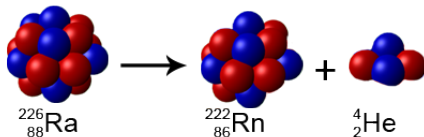
- ▶ Ionisoiva säteily voi käynnistää elimistössä sarjan prosesseja, alkaen atomaariselta tasolta, edeten soluun, kudokseen ja koko kehoon.
- ▶ Säteily vahingoittaa soluja ja osuessaan dna:han saattaa aiheuttaa mutaatioita.
- ▶ Pienten annosten vaikutukset ovat niin epätodennäköisiä, että ne havaitaan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

α -säteily

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



- ▶ Ytimen massaluku pienenee neljällä ja järjestysluku kahdella.



Kuva: Radiumin α -hajoaminen. Lopputuotteena syntyy radonia.
public domain

β -säteily

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



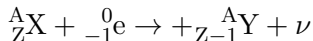
- ▶ β^+ -hajoamisen reaktioyhtälö



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

Elektronisieppaus

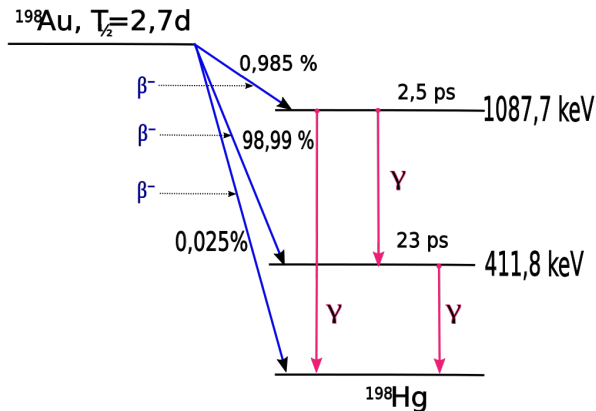
- ▶ Elektronisieppaus on ydinreaktio, jossa yksi alimpien kuorien elektroneista ”tipahtaa” ytimeen ja muuttaa yhden protoneista neutroniksi.
- ▶ Tällöin emittoituu neutriino, mutta ei varsinaista ydinsäteilyä



- ▶ 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.

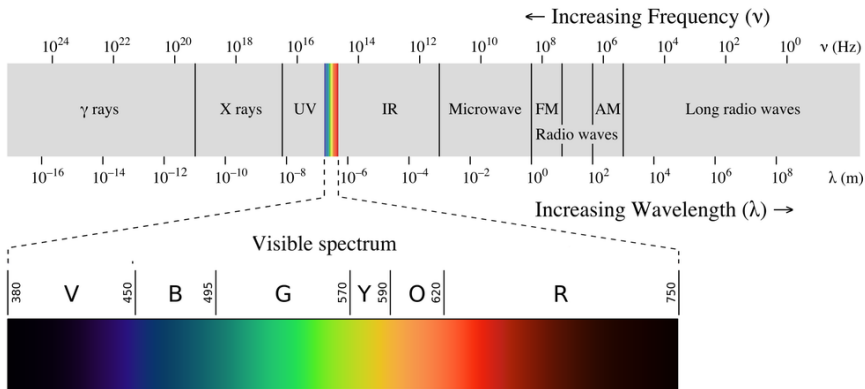
γ -säteily

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



Ionisoiva säteily

- ▶ Hiukkassäteily on käytännössä aina ionisoivaa.
- ▶ Ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä ovat gammasäteily, röntgensäteily ja UV-säteily.



Säteilyn läpäisykyky

- ▶ α -säteily koostuu raskaista varatuista hiukkasista, joten se myös pysähtyy hyvin nopeasti. Se kulkee ilmassa vain muutamia senttejä ja pysähtyy jo paperiin.
- ▶ β -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.

Gammasäteilyn vaimeneminen

- ▶ Säteily vaimenee aineessa absorptiolain mukaisesti:

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

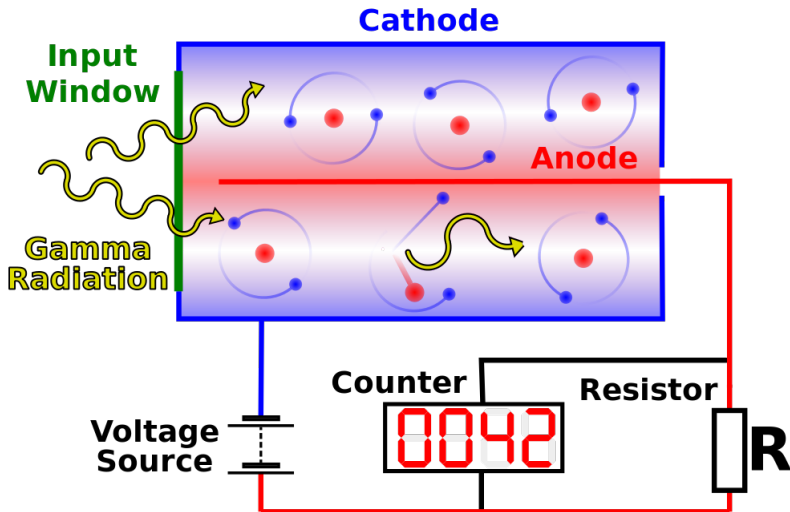
jossa

- ▶ I on säteilyn intensiteetti väliaineen jälkeen,
 - ▶ I_0 säteilyn intensiteetti ennen väliainetta,
 - ▶ x väliaineen paksuus ja
 - ▶ μ väliainekohtainen lineaarinen vaimenemiskerroin.
- ▶ Lineaarinen vaimenemiskerroin μ riippuu väliaineen materiaalista.
 - ▶ Materiaalin puoliintumispaksuudeksi kutsutaan paksuutta jonka jälkeen säteilyn intensiteetti on laskenut puoleen.

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.
- ▶ Läsnä oleva säteily voidaan havaita nopeasti Geiger-laskurin avulla.

Geiger-laskuri



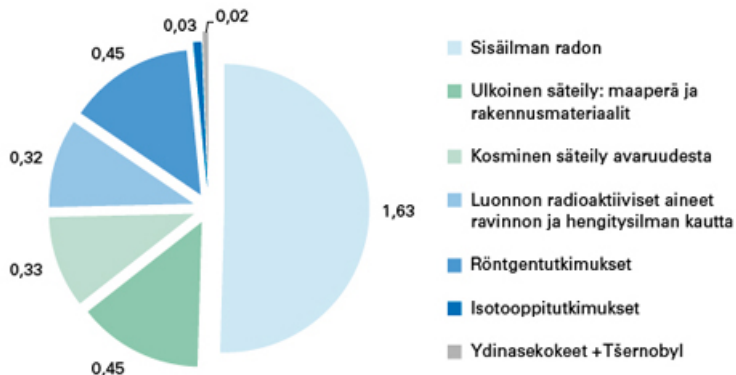
Säteilyn vaikutukset

- ▶ Koska ionisoiva säteily voi hajottaa molekyyliä, voi se aiheuttaa kudonvaurioita.
- ▶ Tavallista suurempi säteilyannos nostaa syöpäriskiä, sillä säteily voi muokata solun perimää ja rikkoa sen normaalin toiminnan.
- ▶ Suuri kerta-annos voi aiheuttaa säteilysairautta.
- ▶ Hyvin suuri kerta-annos voi aiheuttaa elimistöön ketjureaktion, joka johtaa kuolemaan muutamien vuorokausien kuluessa.



Säteilyn lähteet

Suomalaisten keskimääräinen säteilyannos 3,2 millisievertiä vuodessa



kuva: STUK

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 α -säteilyä on huomattavasti haitallisempaa kuin vastaava määrä β - tai γ -säteilyä.
- ▶ Jokaisella säteilylajilla on oma painokerroin.



$$H_T = w \cdot D$$

eli ekvivalenttiannos saadaan kertomalla absorboitunut annos painokertoimella.

- ▶ Fotonien ja elektronien (γ , röntgen ja β) kerroin on 1. α -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 μSv .
- ▶ 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