

# Työ 55

## Radioaktiivisuus ja säteily

Työvuoro **51** pari **4**

Juho Salmi 80391C  
Jukka Kemppainen

Selostuksen laati *Juho Salmi*

Mittaukset suoritettu **11.11.2013**  
Selostus palautettu **18.11.2013**

## 1 Johdanto

Atomit koostuvat sen ytimeen pakkautuneista protoneista ja neutroneista sekä ulkokehällä sijaitsevista elektroneista. Ytimen hiukkasten välillä on vahva vuorovaikutus, joka pitää atomiydintä koossa. Sähkömagneettinen vuorovaikutus saa puolestaan positiivisesti varautuneet ytimen protonit hylkimään toisiaan. Näiden voimien yhteisvaikutuksesta vain tietyn protoni- ja neutronimäärän sisältävät atomiytimet ovat stabiileja. [1, 2]

Epästabiilit atomiytimet pyrkivät stabiileiksi spontaanisti hajoamalla. Tätä kutsutaan radioaktiiviseksi hajoamiseksi. Hajoamisessa vapautuneiden hiukkasten sinkoutumista ympäristöön kutsutaan radioaktiiviseksi säteilyksi. [1, 2]

Tässä työssä tutkitaan alfa-, beeta- ja gammahajoamisia sekä -säteilyä. Alfahajoamisessa ydin emittoi kahden protonin ja neutronin muodostaman alfahiukkasen eli heliumytimen. Beetahajoamisessa protoni muuttuu neutroniksi tai päin vastoin.  $\beta^-$ -hajoamisessa ytimen neutroni muuttuu protoniksi vapauttaen elektronin ja antineutriinon.  $\beta^+$ -hajoamisessa protoni muuttuu neutroniksi vapauttaen positronin ja neutriinon. Vapautuvia elektroneita tai positroneita kutsutaan beetahiukkasiksi ja -säteilyksi. [1, 2]

Alfa- ja beetahajoamisissa atomiydin voi jäädä virittyneeseen tilaan. Viritystilan lauetessa ydin emittoi viritysenergiansa gammafotonina. Tätä kutsutaan gammahajoamiseksi ja -säteilyksi. [1, 2]

Alfa- ja beetasäteilyä kutsutaan hiukkassäteilyksi, sillä niissä vapautuu hiukkasia, joilla on massa. Gammasäteily on puolestaan sähkömagneettista säteilyä. [1, 2]

Eri radioaktiivisen säteilyn tyypeillä on erilaiset ominaisuudet [1, 2]. Tässä työssä tutustutaan alfa-, beeta- ja gammasäteilyn kantamaan ilmaan sekä läpäisykykyyn ja absorptioon erilaisissa väliaineissa.

## 2 Laitteisto ja menetelmät

Säteilynilmaisin eli detektori on laite, joka tuottaa jännitepulssin havaitessaan säteilyhiukkasen. Pulssitaajuus ( $\dot{n}$ ) on pulssimäärä ( $n$ ) aikayksikköä kohden. Detektori ei havaitse kaikkia siihen osuvia hiukkasia. Havaitsemistodennäköisyyttä kutsutaan detektorin efektiivisyydeksi ( $\epsilon$ ). Radioaktiivisten hajoamisten lukumäärä noudattaa Poisson-jakaumaa, joten pulssimäärän virhearviona voidaan käyttää sen neliöjuurta:  $\Delta n = \sqrt{n}$ .

Lähteen aktiivisuus  $A$  tarkoittaa siinä tapahtuvien radioaktiivisten hajoamisten määrää aikayksikköä kohden. Aktiivisuuden yksikkö on 1/s, jonka erityisnimi on Becquerel (Bq). Aktiivisuus voidaan määrittää mittaamalla lähteen säteilyn pulssitaajuutta ( $\dot{n}$ ). Oletetaan lähteen koko etäisyyteen nähden niin pieneksi, että lähde voidaan käsitellä pistemäisenä. Oletetaan lisäksi detektori niin pieneksi, että sitä voidaan kuvata tasona. Gammasätei-

lyn kohdalla vuorovaikutustodennäköisyys ilman kanssa on niin pieni, ettei säteilyä absorboidu merkittävästi ennen sen osumista detektoriin. Tällöin detektorin havaitsema pulssitaajuus on

$$\dot{n} = \epsilon \cdot A \cdot n_A \cdot \frac{\Omega}{4\pi}, \quad (1)$$

jossa  $n_A$  on yhdessä hajoamisessa emittoituvien gammakvanttien määrä, jossa lähde näkee detektorin. Detektorin pinta-ala on  $a_d$ , joten kaava voidaan kirjoittaa muotoon

$$\dot{n} = \epsilon \cdot A \cdot n_A \cdot \frac{a_d}{4\pi r^2}, \quad (2)$$

jossa  $r$  on detektorin etäisyys lähteestä. Pulssitaajuus on siis kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.

Säteilyn absorptiotodennäköisyys väliaineessa kasvaa väliaineen järjestyksluvun funktiona ja pienenee fotonin energian funktiona. Gammasäteilyn intensiteetti  $\varphi$  vaimenee säteilyn väliaineessa kulkeman matkan  $x$  funktiona eksponentiaalisesti:

$$\varphi(x) = \varphi_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}, \quad (3)$$

jossa  $\varphi_0$  on intensiteetti ennen väliaineeseen osumista. Matkavaimennuskerroin  $\mu$  on väliaineesta ja fotonin energiasta riippuva absorptiotodennäköisyys pituusyksikköä kohden. Detektorin mittaama pulssitaajuus on suoraan verrannollinen säteilyn intensiteettiin:

$$\dot{n} = \epsilon \cdot \varphi \cdot a_d \quad (4)$$

Osueessaan väliaineeseen, säteily ionisoi sen atomeita ja molekyyliä. Absorboitunut annos  $D$  määritellään kohteeseen absorboituneen säteilyenergian ja kohteen massan suhteena:

$$D = \frac{E}{m} \quad (5)$$

Absorboituneen annoksen yksikkö on J/kg, jonka erityisnimitys on Gray (Gy). Annosnopeus on absorboitunut annos aikayksikköä kohti:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} = \frac{dE}{dt} \frac{1}{m} \quad (6)$$

Energiaa siirtyy väliaineeseen saman verran kuin säteilyn intensiteetti vaimenee, joten annosnopeus voidaan kirjoittaa muotoon:

$$\dot{D} = \frac{\varphi \cdot a \cdot p_{abs} \cdot \bar{E}}{m}, \quad (7)$$

jossa  $a$  on tarkasteltavan tilavuusalkion pinta-ala,  $p_{abs}$  fotonien absorboitumistodennäköisyys ja  $\bar{E}$  fotonien keskimääräinen energia. Tarkasteltaessa pientä tilavuusalkiota voidaan absorptiotodennäköisyys kirjoittaa muotoon

$$p_{abs} = \mu_{en} \cdot l, \quad (8)$$

jossa  $\mu_{en}$  on energian absorptiotodennäköisyys pituusyksikköä kohden ja  $l$  tilavuusalkion pituus. Massa voidaan puolestaan kirjoittaa puolestaan tiheyden, pinta-alan ja pituuden tulona ( $\rho \cdot a \cdot l$ ) ja  $\phi$  voidaan ratkaista kaavasta 4. Saadaan siis

$$\dot{D} = \frac{\dot{n} \cdot a \cdot \mu_{en} \cdot l \cdot \bar{E}}{\epsilon \cdot a_d \cdot \rho \cdot a \cdot l} = \frac{\dot{n} \cdot \bar{E}}{\epsilon \cdot a_d} \frac{\mu_{en}}{\rho} \quad (9)$$

jossa tekijää  $\mu_{en}/\rho$  kutsutaan energia-absorption massakertoimeksi. Vaihtoehtoisesti voidaan pienillä etäisyyksillä mitatessa arvioida, että annosnopeus voidaan määrittää vaimentumattoman ( $\dot{n}_0$ ) ja väliaineessa vaimentuneen ( $\dot{n}_1$ ) pulssitaajuuden avulla.

$$\varphi \cdot a \cdot p_{abs} = \frac{\dot{n}_0 - \dot{n}_1}{\epsilon} \quad (10)$$

Sijoittamalla tämä kaavaan 7 saadaan annosnopeudeksi

$$\dot{D} = \frac{(\dot{n}_0 - \dot{n}_1) \cdot \bar{E}}{\epsilon \cdot m}. \quad (11)$$

## 2.1 Alfa- ja beetasäteilyn mittaus

Alfa- ja beetasäteilyn mittauksessa säteilylähteet ja detektori on asennettu muovikoteloon, jossa säteilylähteiden etäisyyttä detektorista voidaan säätää ruuvilla ja säteilylähde voidaan vaihtaa tappia vetämällä tai työntämällä. Detektoriin kytketystä mittalaitteesta voidaan lisäksi valita mitattavaksi haluttu säteilylaji. Alfasäteilyn lähde koostuu Am-241-isotoopista ja beetasäteilyn ( $\beta^-$ ) lähde Sr-90-isotoopista. Alfahiukkasten energia on noin 5,5 MeV. Beetahiukkasten maksimienergia 546 keV ja keskimääräinen energia 196 keV.

## 2.2 Gammasäteilyn mittaus

Gammasäteilyn mittauksessa käytetään säteilylähteenä Co-60-isotooppia, joka  $\beta^-$ -hajoamisella muuttuu Ni-60-isotoopiksi. Hajoamisen jälkeen ydin jää viritystilaan, jonka purkautuessa emittoituu kaksi gammakvanttia energioiltaan 1173 keV ja 1332 keV. Detektorina käytetään tuikeilmaisinta, jonka pohjan pinta-ala on  $5,07 \text{ cm}^2$ . Detektori havaitsee noin 36 % tuikekiteeseen osuvista gammakvanteista. Annosnopeuden mittaukseen käytetään Geiger-Muller-putkeen perustuvaa dosimetria.

## 3 Tulokset

### 3.1 Alfa- ja beetasäteily

Mitataan alfalähteen säteilyn pulssitaajuus 5 mm etäisyydeltä vaimentamattomana sekä mylarkalvon kanssa.

Taulukko 1: Alfalähteen aiheuttama pulssitaajuus 5mm etäisyydeltä

vaimentumaton	$4000 \pm 200 Bq$
mylarkalvon kanssa	$0,25 \pm 0,25 Bq$

Mitataan alfasäteilyn kantama ilmassa siirtämällä alfalähdettä kauemmas detektorista. Saadaan, että  $23 \pm 1 mm$  etäisyydellä detektori ei havaitse kuin satunnaisia hajoamisia, joten etäisyys voidaan katsoa alfasäteilyn kantamaksi.

Mitataan beetalähteen säteilyn pulssitaajuus 5mm etäisyydeltä vaimentamattomana, mylarkalvon ja pleksilevyn kanssa.

Taulukko 2: Beetalähteen aiheuttama pulssitaajuus 5mm etäisyydeltä

vaimentumaton	$350 \pm 50 Bq$
mylarkalvon kanssa	$350 \pm 50 Bq$
pleksilevyn kanssa	$125 \pm 25 Bq$

Mitataan beetasäteilyn vaimenemista siirtämällä beetalähde niin kauas detektorista kuin mittalaitteella on mahdollista. Saadaan maksimietäisyydellä  $83 \pm 0,5 mm$  pulssitaajuudeksi  $75 \pm 25 Bq$ .

## 4 Yhteenveto ja pohdinnat

### Viitteet

- [1] Harjoitustyöohje: Työ 55 Radioaktiivisuus ja säteily,  
<http://physics.aalto.fi/pub/kurssit/Tfy-3.15xx/materiaali/55.pdf>  
[Viitattu 18.11.2013]
- [2] Wikipedia-artikkeli radioaktiivisuudesta,  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaktiivisuus> [Viitattu 18.11.2013]

### Liitteet

1. Mittauspöytäkirja