

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. β^- -hajoamisessa ytimen neutroni muuttuu protoniksi vapauttaen elektronin ja antineutriinon. β^+ -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 ilmassa sekä läpäisykykyyn erilaisissa väliaineissa.

2 Laitteisto ja menetelmät

Tämän luvun aliluvussa 2.1 tutkitaan alfa- ja beetasäteilyn ja aliluvussa 2.2 gammasäteilyn kantamaa ilmassa sekä läpäisyä eri väliaineissa.

Määritellään ja johdetaan työssä käytettävät termit ja fysikaaliset kaavat säteilyn kantaman ja läpäisyn mittaamiseksi.

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 (ϵ). 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. Gammasäteilyn kohdalla vuorovaikutustodennäköisyys ilman kanssa on niin pieni, ettei säteilyä absorboitu 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 järjestyksellisen funktiona ja pienenee fotonin energian funktiona. Gammasäteilyn intensiteetti φ vaimenee säteilyn väliaineessa kulkeman matkan x funktiona eksponentiaalisesti:

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

jossa φ_0 on intensiteetti ennen väliaineeseen osumista. Matkavaimennuskerroin μ on väliaineesta ja fotonin energiasta riippuva absorptiotodennäköisyys pituusyksikköä kohden. Detektorin mittaama pulssitaajuus on suoraan verrannollinen säteilyn intensiteettiin:

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

Osua 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 siirtyä 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 μ_{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 ϕ voidaan ratkaista kaavasta 4. Saadaan siis

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

jossa tekijää μ_{en}/ρ 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 beetasäteily

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. Alfa-säteilyn lähde koostuu Am-241-isotoopista ja beetasäteilyn (β^-) lähde Sr-90-isotoopista.

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

Taulukko 1: Alfa-säteilyn aiheuttama pulssitaajuus

Alfasäteilyn 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 $23 \pm 1\text{mm}$ 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: Alfasäteilyn aiheuttama pulssitaajuus

Beetasäteilyn aiheuttama pulssitaajuus 5mm etäisyydeltä	
vaimentumaton	$350 \pm 50Bq$
mylarkalvon kanssa	$350 \pm 50Bq$
mylarkalvon kanssa	$125 \pm 25Bq$

2.2 Gammasäteily

3 Tulokset

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