

# Säteilyn ilmaisin

Alexey SOFIEV

19.05.2016

Suorituspäivä:	18 Toukokuuta, 2016
Työpari:	Tudor Florea Jari Honko
Opiskelijanumeroni:	013573003

# 1 Tiivistelmä

Fysiikan aineopintojen toisen laboratoriotyön tarkoituksena oli rakentaa tuikeilmaisim havaitsemaan gammasäteilyä. Päätehtävänä oli tutustua tuikeilmaisimen toimintaan ja siinä hyödynnettävään elektroniikkaan. Lisätehtävänä oli tutkia säteilyn vaimenemista lyijyssä.

Molemmat tehtävät onnistuivat, määritetty lyijyn vaimenemiskerroin vastaa teoreettista tilannetta virherajojen sisällä. Huolimatta laitteiston suunnittelusta toiminnallisuudesta, virherajoissa on yhä pienentämistä.

## 2 Johdanto

Tämän laboratoriotyön tarkoituksena oli rakentaa laitteisto, joka pystyisi havaitsemaan gammasäteilyä. Työssä on valittu havainnointikappaleeksi tuikete, joka muuntaa siihen osuvaa gammasäteilyä valon tuikahdukseksi. Saatua signaali on kuitenkin hieman heikko, joten ennen sen rekisteröintiä se päästetään valomonistinputkesta läpi (PMT, photomultiplier tube), jonka jälkeen voimistunut valosignaali kerätään ja muutetaan sähköiseksi signaaliksi. Muuttaminen tapahtuu esivahvistimen avulla. Saatua signaali ohjataan tietokoneen äänikortille, josta se kerätään talteen PRA11 ohjelman avulla. Ennen varsinaista mittausta tutkittiin rakennetun piirin ulostulevan signaalin muotoja oskilloskoopilla, mm. esivahvistin ja vahvistin.

Mittaukset aloitettiin taustasäteilyn mittauksella, jotta sitä voitaisiin poistaa analyysivaiheessa. Säteilyn lähteenä oli Cs-137, ja se oli asetettu parin cm korkeudelle lähteestä. Gammasäteilyn vaimenemista lyijyssä tutkittiin lisäämällä ohuita 0.13 – 0.16 cm paksuisia levyjä säteilylähteen ja tuikeilmaisimen väliin.

## 3 Koejärjestely

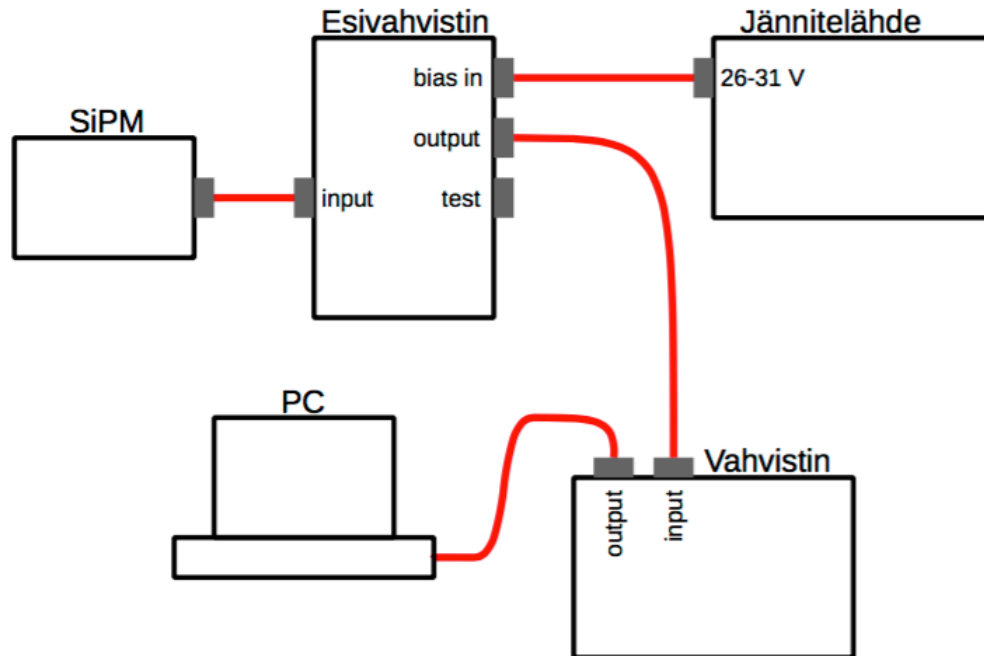
### 3.1 Koejärjestely yleisesti

Kuva 1 kuvaa koejärjestelyä.

Kuten mainittiin Johdannossa, tarkoituksena on että säteilylähteeltä tulevaa säteilyä osuu tuikeilmaisimeen ja muuttuu valoksi, jota voimistetaan valomonistinputkella (SiPM). Sen jälkeen signaali muutetaan sähköiseksi ja vahvistetaan (Esivahvistin ja vahvistin), jonka jälkeen se kulkeutuu tietokoneen äänikortin kautta PRA11-ohjelmalle.(PC)

Helpottaakseen laitteiston rakentamista laboratorio-olosuhteissa Kuva 2 näyttää miltä laitteiston osat näyttävät luonnossa.

Kuvan 2 ensimmäisessä kuvassa on auki oleva valoanturi, jonka vihreän osan keskellä on läpinäkyvä tuikeilmaisim. Mittausten aikana tuo laatikko on kiinni, jotta vältetään näkyvän valon häiriötä. Toisessa kuvassa (oikea ylänurkka) on esivahvistin. Kolmannessa vahvistin, ja neljännessä kuvassa on kuva mitaustilanteesta, jossa on statiivilla kiinni säteilyn lähde, valoilmaisin suljettu, sekä säteilyn lähteen ja tuikeilmaisimen välissä on lyijylevy vaimentamassa. Lisäksi neljännessä kuvassa on mittaussväline, jolla määritetään levyjen paksuus. (eivät olleet tasapaksuja)



Kuva 1: Kaaviokuva koejärjestelystä. Jännitelähde tuotti 28V:n jännitettä.  
Lähde: [1]

## Häiriötekijät ja ratkaisut

### Ulkoinen valo

Ulkoinen valo on huomattavasti suurempi kuin tuikekiteestä saatava signaali, joten valoanturi on suljettu mustaan ei-läpinäkyvään laatikkoon.

### Tuikekiteen paikkariippuvuus

Tuikekide on vain seisomassa anturin paikalla, joten on tönäisyherkkä, ja sen pienehkönkin liikahtuksen on havaittu muuttavan tuloksia suuresti. Pienentääkseen liikahtamista musta laatikko teipattiin kiinni pöytään. Huomautus: jos liian pieni signaali, niin se johtuu siitä, että kide on pois paikaltaan.

### Taustakohina

Taustasäteilyä ei ollut mahdollista eliminoida laboratorio-oloissa, joten sitä yritetään pienentää kahdella tavalla: 1) suodattamalla liian heikon signaali pois, ja 2) mittaamalla tausta ja vähentämällä sen tutkimustuloksista.



Kuva 2: Laitteiston osat. 1. Valoanturi, jonka vihreän osan päällä on tuikeki-  
de; 2. Esivahvistin; 3. Vahvistin; 4. Mittaustilanne, jossa on suljettu valoanturi  
ja 2 lyijylevyä päällä.

## 4 Teoria

Tarkasteltaessa säteilylähteen intensiteettiä, on huomioitavaa kolme tekijää:

- 1 Säteilyaineen puoliintumista ajan myötä.
- 2 Säteilyn jakautuminen kaikkiin suuntiin, joten tarkastelusuuntaan tulee vain osa säteilystä.
- 3 Säteilyn vaimeneminen väliaineessa.

Tässä työssä ei ole tavoitteena määrittää lähteen aktiivisuus, vaan tutkia säteilyn käyttäytymistä väliaineessa, joten kohdat 1-2 voi jättää huomiotta. Lisäksi ilmassa vaimeneminen on pientä vertaen lyijyyn [3] [4], joten vaimeneminen ilmassa voidaan jättää huomiotta.

### 4.1 Gammasäteilyn vaimeneminen

Säteilyn laki noudattaa eksponentiaalista vaimenemista väliaineessa [2]

$$I = I_0 * e^{\mu x} \quad (1)$$

Jossa  $I$  on intensiteetti,  $I_0$  on alkuperäinen voimakkuus,  $\mu$  on vaimenemis-kerroin, ja  $x$  on matka väliaineessa.

Kun  $x$  on hallittavissa ja  $I$  on mitattavissa, niin tutkitaan kahden tapauksen erotusta ja otetaan logaritmi Kaavasta 1, jolloin saadaan Kaava 2:

$$\log(I_n - I_{n-1}) = \log(I_0) + \mu(x_n - x_{n-1}) \quad (2)$$

Eli suoran sovituksella  $(\Delta x, \log(\Delta I))$ -koordinaatistossa saadaan selville levyjen vaimenemiskertoimet.

### 4.2 Virheen arviointi

#### 4.2.1 Taustan poisto

Taustamittauksesta lasketaan kuinka monta tuikahdusta aiheutuu sekunnittain. Tämä keskiarvo poistetaan jokaisesta mittauksesta.

#### 4.2.2 Otoksen virhe

Taustavähennetyssä datasta lasketaan mittauksen epävarmuutta hyödyntäen otosvarianssi.

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_i (y_i - y)^2 \quad (3)$$

Jossa  $s^2$  on otosvarianssi,  $y_i$  mittaustulos,  $y$  keskiarvo,  $N$  mittausten lukumäärä.

Jolloin mittausvirhe on

$$s_x = s/\sqrt{N} \quad (4)$$

#### 4.2.3 Virheen kasautumislaki

Taustan ja mittauksen virheiden yhdistynyttä tulosta lasketaan virheen kasautumislaille, eli Kaava 5:

$$\sigma_{mittaus+tausta}^2 = \sigma_{mittaus}^2 + \sigma_{tausta}^2 \quad (5)$$

Nyt hieman tarkastellaan tapaustamme. Tarkastelemme mittauksen epätarkkuutta, eli  $\log(I + \sigma)$

$$\log(I + \sigma) = \log(I(1 + \sigma/I)) = \log I + \log(1 + \sigma/I) \quad (6)$$

Nyt approximoidaan tämä (Kaava 6) Taylorin sarjan ensimmäisillä polynomeilla, jolloin saadaan Kaava 7:

$$\log(I + \sigma) = \log I + \log(1 + \sigma/I) \approx \log(I) + \sigma/I \quad (7)$$

Kun  $I$  on huomattavasti suurempi kuin  $\sigma$ , eli meidän tapauksessa. Näin olleen Kaavasta 7 saadaan y-akselin virhepylväät ( $\log(\Delta I)$ ,  $\Delta x$ ) kuvaajalle, joka on kasautumislain virhe jaettuna signaalin voimakkuudella.

## 5 Mittaus

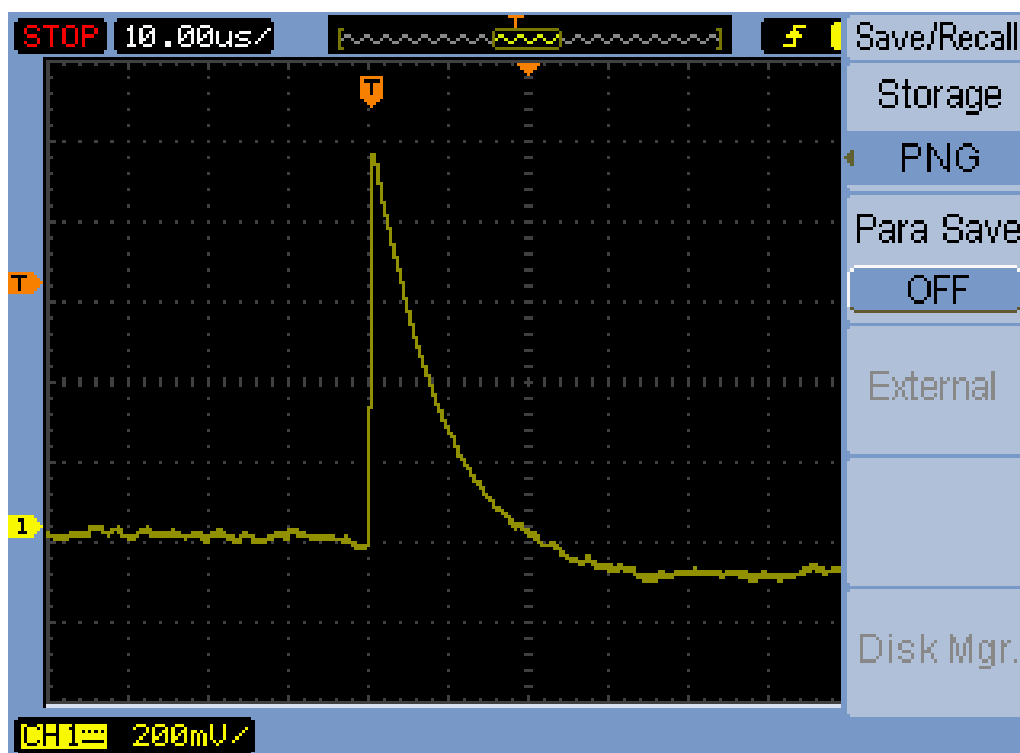
Mittaus on hyvä aloittaa tarkistamalla että laitteisto toimii.

### 5.1 Esivahvistimen signaali

Kuva 3 näyttää esivahvistimen signaalia. Mitattu signaali vastaa teoriata.

### 5.2 Vahvistimen signaali

Kuva 4 näyttää vahvistimen signaalia. Mitattu signaali vastaa teoriata.



Kuva 3: Esivahvistimen signaali. Saatu pulssi vastaa teoriaa. [1]

### 5.3 Taustan heikon signaalin suodatus

Tutkimus aloitetaan mittaamalla taustaa, ja sitten tuomalla säteilylähteen lähelle, jolloin histogrammisesti havaitaan mielenkiintoalue. Kuva 5 esittelee mittauksemme suodatusarvon löytämistä.

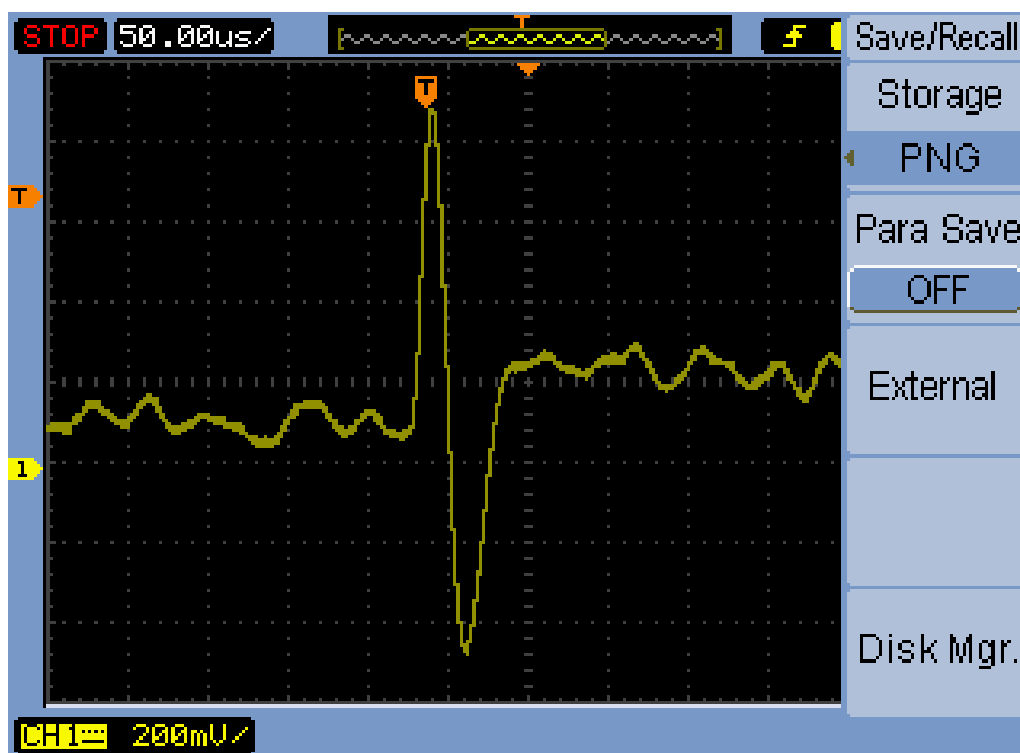
Säteilijän signaali on Poisson/Gaussisesti jakautunut, sillä välin kun kohina on eksponentiaalinen, joten yritetään valita sellainen arvo, joka poistaisi mahdollisimman paljon taustaa, ja suhteellisen vähän siihen verrattuna säteilijän signaalia. Työssämme arvo 4 on osoittautunut hyväksi kynnykseksi.

## 6 Tulokset

Käyttäen edellä mainittua teoriaa ja mitattua datajoukkoa, saadaan Kuva 6.

Käytetty säteilijä on pääosin Cs-137, jonka säteilyn energia on 661.64 keV. [5]. Lyijyn tiheys on  $11.34 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  ja absorptiokerroin per tiheys ( $\sigma/\rho$ ) edellä mainitulle energialle on noin  $467.2 \text{ cm}^2/\text{g}$  [3] eli saadaan





Kuva 4: Vahvistimen signaali. Saatu pulssi vastaa teoriaa. [1]

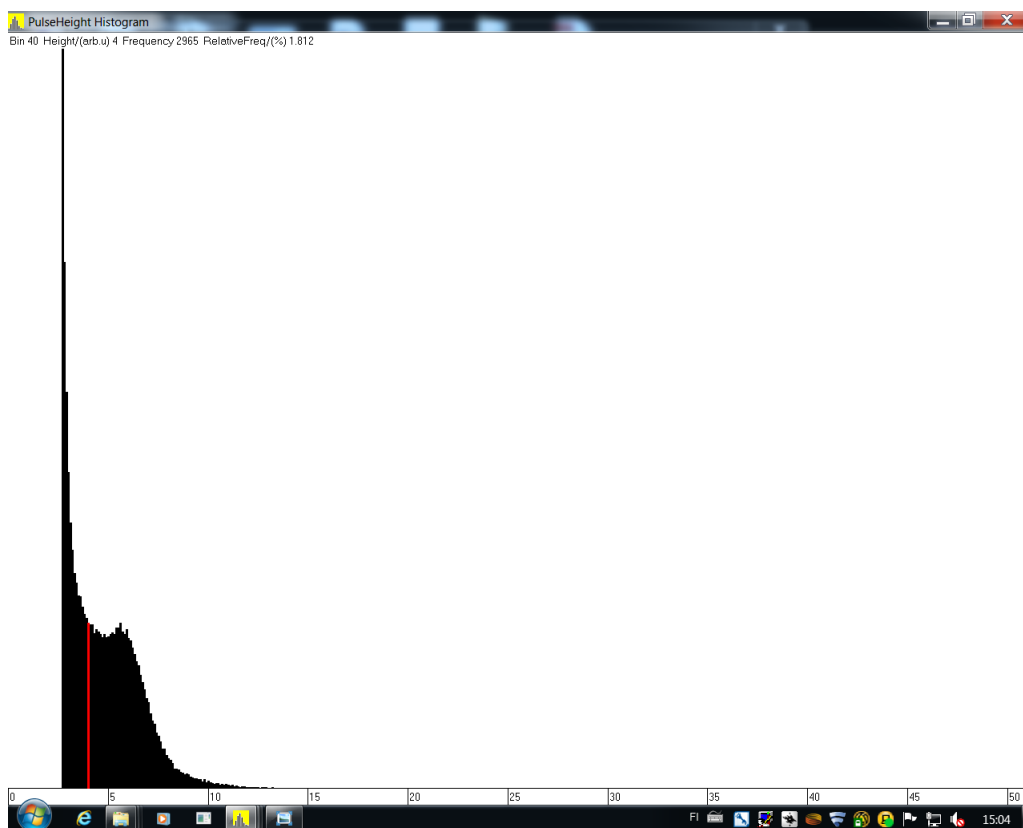
$$\mu = 467.2 * 10^4 m^2 / 10^{-3} kg / 11.34 * 10^3 kg / m^3 \approx 0.412 \text{ 1/mm} \quad (8)$$

Eli teoreettinen arvo on mittausvirheen sisällä saadusta arvosta.

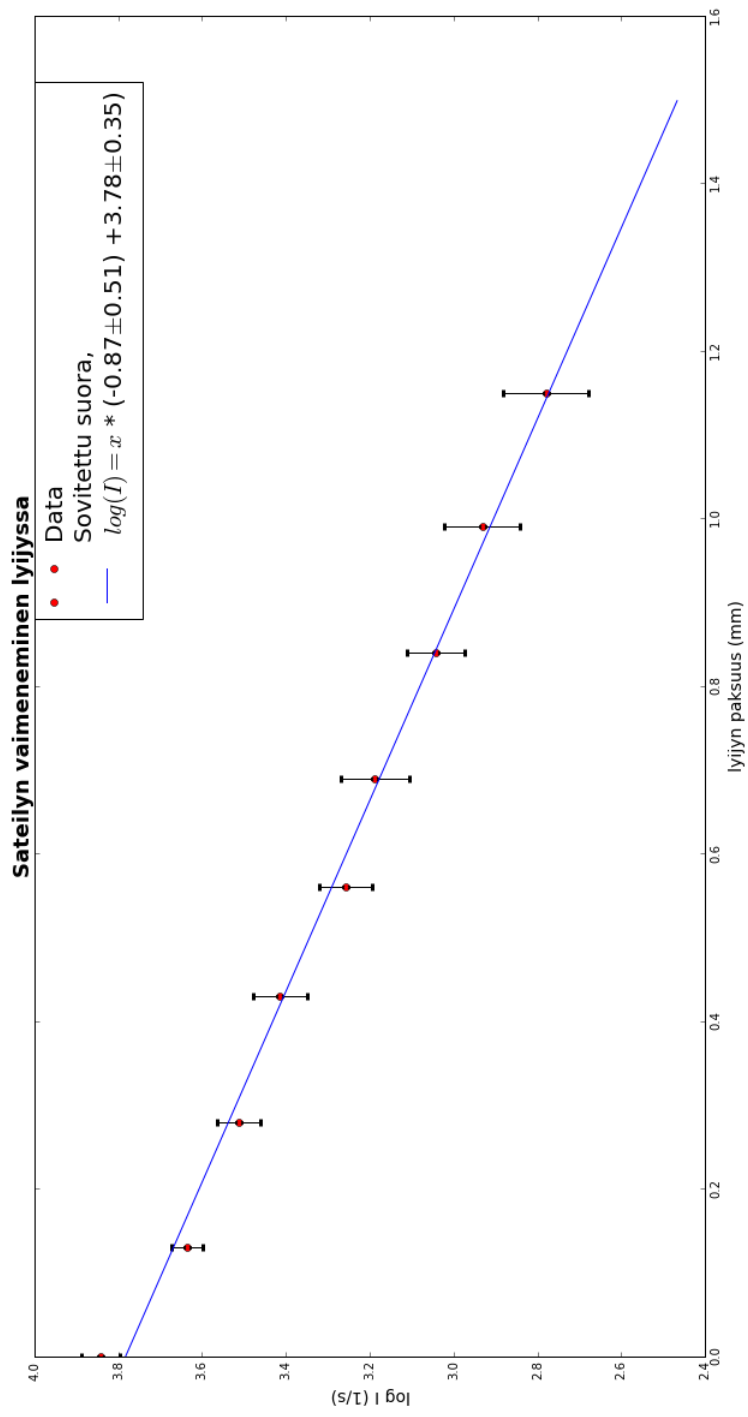
## 7 Johtopäätökset

Mittauslaitteiston rakentaminen onnistui, mittauksissa saatu arvo lyijyn vai-mentamiskertoimelle on teoreettisen arvion sisällä. Suoran sovitus tuotti suuria parametrien virheitä, jotka ainakin silmämääräisesti eniten johtuivat ensimmäisestä mittauksesta ilman lyijykerrosta.

Selityksenä sille voidaan olettaa, että jopa ohut lyijykerros suodattaa jonkun energiaspektrin taustasäteilystä pois, jolloin suojakerroksen olemassaololla ja puutteella on suurta eroa.



Kuva 5: Heikon taustakohinan poisto



Kuva 6: Säteilyn vaimeneminen

## 8 Viitteet

### Viitteet

- [1] AOL 1.2 Työmoniste 2016, Tiiviskurssi, [https://moodle.helsinki.fi/pluginfile.php/1228493/mod\\_resource/content/3/AOLI.2.S%C3%A4teilyn\\_ilmaisin.pdf](https://moodle.helsinki.fi/pluginfile.php/1228493/mod_resource/content/3/AOLI.2.S%C3%A4teilyn_ilmaisin.pdf), katsottu 20160519
- [2] <http://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/interaction-radiation-matter/interaction-gamma-radiation-matter/gamma-ray-attenuation/>, katsottu 20160519.
- [3] <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>, katsottu 20160519.
- [4] <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ComTab/air.html>, katsottu 20160519.
- [5] <https://www.cpp.edu/~pbsiegel/bio431/gennergies.html>, katsottu 20160519.

## 9 Liitteet

Mittauspöytäkirjat, analysointiskriptit yms: <https://github.com/AleksDark/TiivisLabrat/tree/master/2GammasateilynVaimeneminen>