

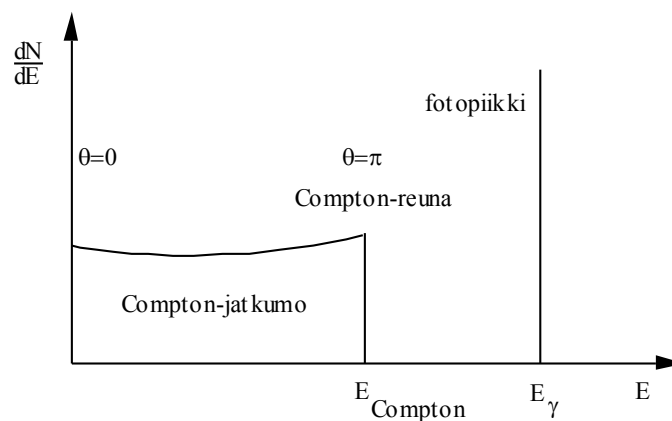
## TYÖ 1.4 Elektronin suhteellisuusteoreettinen liikemäärä

Työssä on tarkoitus tutkia, ovatko Compton-sironnassa energiaa vastaanottavat elektronit klassisia vai suhteellisuusteoreettisia hiukkasia. Compton-sironnassa  $\gamma$ -kvantti vuorovaikuttaa vapaan elektronin kanssa. Tässä työssä käytetään erilaisia radioaktiivisia isotooppeja erienergistien gammojen lähteenä. Mittauslaitteisto koostuu tuikedetektorista ja digitaalisesta pulssianalyysaattorista.

Radioaktiivinen aine laitetaan tuikedetektorin (NaI) lähelle. Osuessaan kiteeseen gammakvantit voivat vuorovaikuttaa kiteen elektronien kanssa kolmella tavalla: tapahtuu valosähköisen ilmiö, Compton-sironta tai parinmuodostus. Gammakvantti voi myös läpäistä kiteen ilman ainuttakaan vuorovaikutusta, jolloin sitä ei havaita. Valosähköisessä ilmiössä tai Compton-sironnassa syntynyt nopea primäärielektroni luovuttaa energiaansa kiteeseen siroamalla väliaineen ytimistä, ionisoimalla väliaineen atomeja tai jarruuntumalla ytimien sähkökentässä, jolloin osa energiasta muuttuu sähkömagneettiseksi säteilyksi. Tuikedetektorin toiminta perustuu siihen, että osa primäärielektronin aiheuttamista elektronitransitioista purkautuu fotoneina: fotonien määrä – ja lopulta detektorista saatavat jännitepulssin korkeus – on verrannollinen gammakvantin kiteeseen (primäärielektronille) jättämään energiaan.

NaI-tuikaineessa sekä valosähköinen ilmiö että Compton-sironta ovat todennäköisiä niille gammasäteilyn energioille, joita tässä työssä tutkitaan. Histogrammiin kerättävä energiaspektri antaa siis tietoa sekä tulevan gammasäteilyn energiasta (fotopiikki, seurausta valosähköisestä ilmiöstä) että Compton-sironnan primäärielektronien energiasta (Compton-reuna ja -jatkumo).

Jos oletetaan, että tutkittava radioaktiivinen isotooppi lähettää monoenergisää gammakvantteja, ideaalisella detektorilla havaittaisiin säteilyn energiaspektrissä terävä piikki ( $\delta$ -piikki) energiaa  $E_\gamma$  vastaavassa kohdassa ja teoreettisen Compton-sironnan energijakaumaa vastaava jatkuva jakauma energiaa  $E_{\text{Compton}}$  pienemmillä energioilla (ks. kuva 1). Koska mikään mittauslaitteisto ei ole ideaalinen, mitattava energijakauma vastaa kuvan 1 jakaumaa konvoloituna gaussisella resoluutiofunktiolla. Tämä konvoluutio levittää spektrin muotoja.



**Kuva 1. Teoreettinen gammakvanttien tuikeaineeseen jättämä energijakauma.  $\theta$  on sirontakulma ja  $dN$  on niiden havaittujen gammakvanttien lukumäärä, joiden energia on välillä  $[E, E+dE]$ .**

### **Mittaukset**

1. Kirjaudu työasemaan sisään ja käynnistä mittausohjelma ”PX4\_v326” hakemistosta ”C:\Programs\PX4\”. Valitse ”DP4” oikealla olevasta valikosta ja sen jälkeen ”USB (1 detected)” ohjelman ”Port” –valikosta. Lataa työssä käytettävät asetukset painamalla ”Recall Configuration” -nappia ja saata asetukset voimaan ”Configure” -napista. Asetusten tulisi olla seuraavat (säädä tarvittaessa käsin):

Time to Peak:	0,8 us
Top Width:	1,6 us
Threshold:	2,14% FS
Fast Threshold:	100
Output Offset:	101 mV
BLR:	Off
PUR:	Off
Reset:	Off
DAC:	Shaped
MCA	256 Ch
Buffer Select:	Buffer A
AutoBaseline:	Off
Rise Time Discrimination:	Off
Gain:	11x/0,7500
Gate Input:	Off

Seuraavassa esitellään käyttöliittymän tärkeimmät toiminnot:

Slow Count:	Ilmaisee spektrin kokonaispulssimäärän
Accum. Time:	Ilmaisee kokonaismittausajan
Nuoli ylös/Nuoli alas/Auto:	Spektrin pysty akselin asteikon skaalaus
Auto:	Spektrin pysty akselin asteikon automaattiskaalaus
Log/Lin:	Pystyasteikon vaihtaminen logaritmisiksi/lineaariseksi

- Count Mode: Asennossa ”Delta” näyttää ns. differentiaalisen spektrin; spektriä kerätään vain päivitysjakson (”Refresh”) verran, minkä jälkeen aloitetaan alusta. Asennossa ”Total” kerää spektriä kunnes käyttäjä keskeyttää mittauksen.
- Pause/Resume MCA: Keskeyttää mittauksen/jatkaa mittausta.
- Save Spectrum: Tallentaa spektrin ASCII-muodossa.

Spektrejä mitattaessa laitetaan siis Count Mode asentoon ”Total”. Kun haluttu mittausaika on tullut täyteen, keskeytetään mittaus painamalla ”Pause MCA” –nappia ja tallennetaan spektri. Uuden spektrin keräämiseksi vaihdetaan Count Mode ensin asentoon ”Delta” ja sitten takaisin asentoon ”Total” (Configure-nappia saattaa joutua painamaan useamman kerran peräkkäin, mikäli uutta spektriä ei ala kertyä ruudulle).

2. Nosta korkeajännitettä hitaasti kunnes analogisen mittarin osoitin näyttää tasan 600 V (tätä vastaava potentiometrin lukema tulisi olla noin 6,4). AMP GAIN –säädintä ei tarvitse käyttää työssä.
3. Mittaa seuraavat isotoopit (älä poista pusseista):

Cs-137	662 keV	
Co-60	1173 keV, 1332 keV	
Na-22	511 keV, 1275 keV	
K-40	1461 keV	(suolapurkissa)

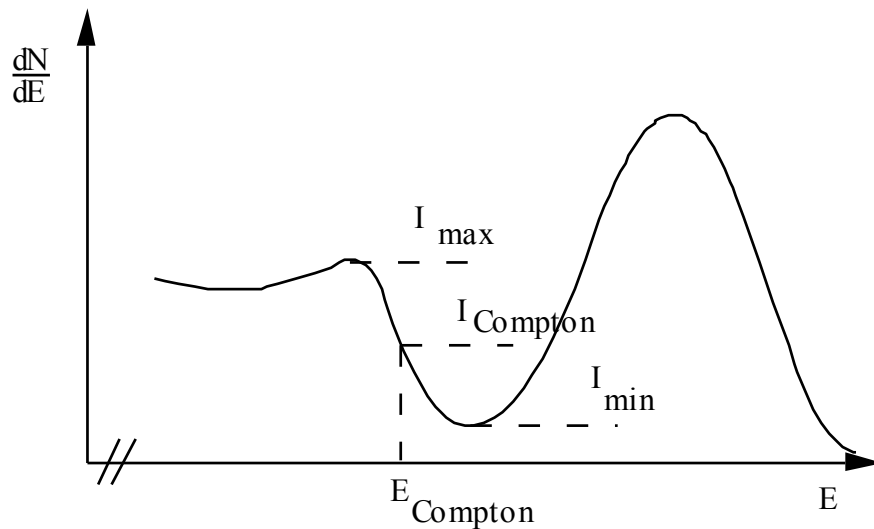
Mittausaika on 10–15 min paitsi K-40 -isotoopilla 20–30 min. Tarkista, että fotopiikit ja Compton-reunat erottuvat selvästi. Aloita K-40 isotoopilla (suurin energia) ja varmista, että fotopiikki näkyy kokonaisuudessaan asteikon oikeassa reunassa. Tallenna jokaisen mittauksen jälkeen spektri työpöydän hakemistoon ”Opiskelijat”. Muista siirtää spektrit omaan kotihakemistoon Aalto IT-palvelimella tai tallentaa ne USB-tikulle tms. mittausten jälkeen. **Assistentti tekee valmistelut K-40-isotoopin mittausta varten. Ilmoita, kun olette valmiit mittaamaan ko. spektrin.**

4. Laske korkeajännite hitaasti alas, sulje pulssianalysoitsijan käyttöliittymä painamalla ”Exit” –nappia ja kirjaudu ulos työasemasta.

## Selostus

1. Selitä yksityiskohtaisesti, miten tuikedetektorin ja muu mittalaitteisto toimii. Käytä apuna kirjaa G. F. Knoll, Radiation detection and measurement (kurssikirja, Fysiikan osaston kirjastossa) tai kurssimateriaalin liitettä C.
2. Tee energiakalibraatio fotopiikkien avulla. Määritä fotopiikin paikka siksi kanavaksi, jolla on maksimipulssimäärä, ja paikan virhearvioksi *esimerkiksi*  $\pm 3$  kanavaa riippuen siitä, kuinka epämääräiseltä fotopiikin paikka silmämääräisesti näyttää.. Käytä pienimmän neliösumman keinoa kalibraatiosuoran sovittamisessa (ks. erillinen ohje).

3. Määritä energiaspektreistä Compton-reunojen paikat virhearvioineen. Kuva 2 selvittää reunan paikan määrittämistä.
4. Laske korkeaenergisimpien primäärielektronien energiat  $E_{\text{kin}}$  muuttamalla Compton-reunat energioiksi, ja laske energioiden virhearviot. Ota virhearviossa huomioon Compton-reunan määrittämisen epämääräisyys ja energiakalibraation virhe.
5. Tutki, ovatko Compton-sironnan rekyylielektronit klassisia vai suhteellisuusteoreettisia hiukkasia. Avuksi tarvitset suureen  $p_e^2/2m_e$ , jonka arvot lasket energioiden  $E_{\text{kin}}$  ja  $E_\gamma$  avulla. Klassisen mekaniikan mukaan  $p_e^2/2m_e = E_{\text{kin}}$  ja suhteellisuusteorian mukaan  $p_e^2/2m_e = E_{\text{kin}} + E_{\text{kin}}^2/2m_e c^2$ . Piirrä samaan kuvaan ( $p_e^2/2m_e$   $E_{\text{kin}}$ :n funktiona) mittaustuloksista lasketut  $p_e^2/2m_e$  virhearvioineen sekä klassinen ja suhteellisuusteoreettinen malli.



**Kuva 2. Compton-reunan paikan määrittäminen:  $I_{\text{Compton}} = (I_{\text{max}} + I_{\text{min}})/2$ ,  $I$  on säteilyn intensiteetti. Etsi  $I_{\text{Compton}}$ :ä vastaava kanavan arvo  $E_{\text{Compton}}$ .**