

Gammaspektromeetria protokoll

Taavi Tammaru 2024

Küsimused

4. Nimeta kolm põhilist γ -kiirguse interaktsiooni ainega. Milles need seisnevad?

- Kolm põhilist interaktsiooni ainega on fotoefekt, Compton hajumine ja positron-elektron paari tekkimine.
Fotoefekt seisneb selles, et ainesse siseneb foton, mille energia on võrdne elektroni väljumistööga. Foton annab kogu oma kineetilise energia elektronile, mis väljub aineist.
Compton hajumine on sarnane kuid selle puhul annab foton ära vaid osa oma energiast elektronile ja jätkab liikumist.
Kui footoni energia ületab kahekordset elektroni seisumassi, siis on võimalik, et tuuma mõjuraadiuses tekib positron-elektron paar.

5. Kirjelda germaaniumkristalliga ja stsintillatsioonkristalliga gammaspektromeetrite tööpõhimõtet. Mis on nende peamised erinevused?

- Pooljuhtdetektorid tuvastavad gamma kiirgust, nii et nad muundavad gamma footoni elektriimpulsiks. Gamma foton tekitab pooljuhti elektron-auk paare ning tekkinud laengukandjate arv on proportsionaalne footoni energiaga. Laengud hakkavad elektrivälja mõjul liikuma kindlas suunas, mis tekitabki elektrisignaali, mida saame mõõta. Pooljuhtdetektorid on väga hea energia resolutsiooniga, aga kallimad ja keerukamad.

Stsintillatsioonidetektor töötab, nii et anorgaaniline kristall muundab gamma kiirguse nähtavaks valguseks, mida saab siis mitmel eri moel palju edukamalt detekteerida. Valgussignaali tugevus on proportsioonis algse gamma footoni energiaga. Stsintillatsioonidetektor on efektiivsem kui pooljuhtdetektor kuid väiksema resolutsiooniga. Nad on odavamad ja paremad üldiseks kasutamiseks.

6. Nimeta iseloomulikke nähtusi (spektri komponente), mis esinevad mõlema detektoritüübiga mõõdetud gammaspektrites.

- Comptoni serv ehk koht spektri graafikul, mis vastab maksimaalsele energiale, mida saab gamma kvant anda detektori kristallile.
- Tagasihajumise lokaalne maksimum, mis tekib tagasi hajumisel teistelt objektidelt ruumis.
- Kahekordne koguenergiajoon, mis tekib kui kaks kvanti tabavad detektorit ühe tsükli ajal.

7. Kuidas tekivad gammaspektrisse koguenergiajooned ja pidevspekter?

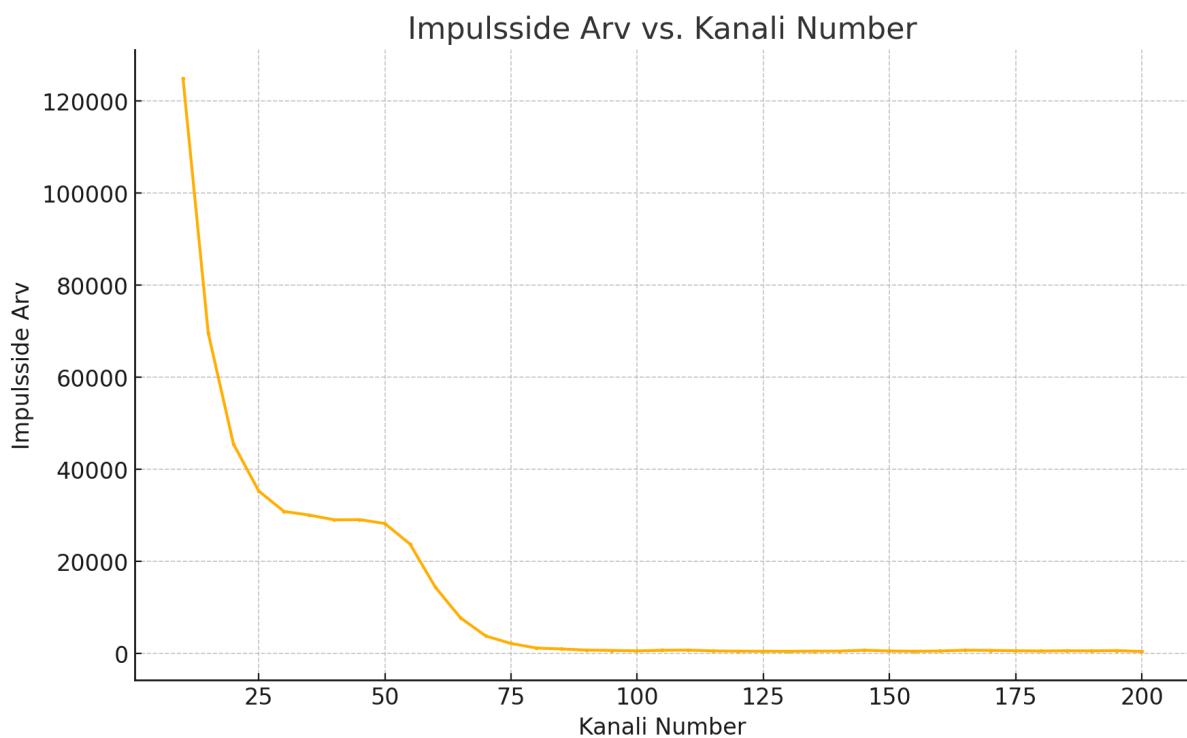
- Koguenergiajoon tekib kui gammakvandi kogu energia neeldub detektoris ühe interaktsiooni käigus, näiteks fotoefekti juures, kus gammakvant annab kogu oma energia ühele elektronile, või paaride tekkel.
- Pidevspekter tekib peamiselt comptoni hajumisest ning ka elektroonika müra- ja tausta foonist.

Ülesanne 1. SiPM seadistamine signaali registreerimiseks stsintillatsioonidetektoriga

Kasutame täna peamiselt stsintillatsioonkristalliga gammaspektromeetrit. Valime ühe stsintillatsioonkristalli ja radioaktiivse allika kombinatsiooni, et masinat kalibreerida. Panime Csl kristalli spektromeetrisse ja Na-22 allika selle peale. Lisaks määrimme Csl kristalli läbipaistva külje kokku ka optilise määrdega, et vähendada tagasipeegeldumise efekti.

Nüüd saame mõõtes vastava graafiku ja peame kindlaks tegema detektori tööpinge ning signaali läviväärtuse.

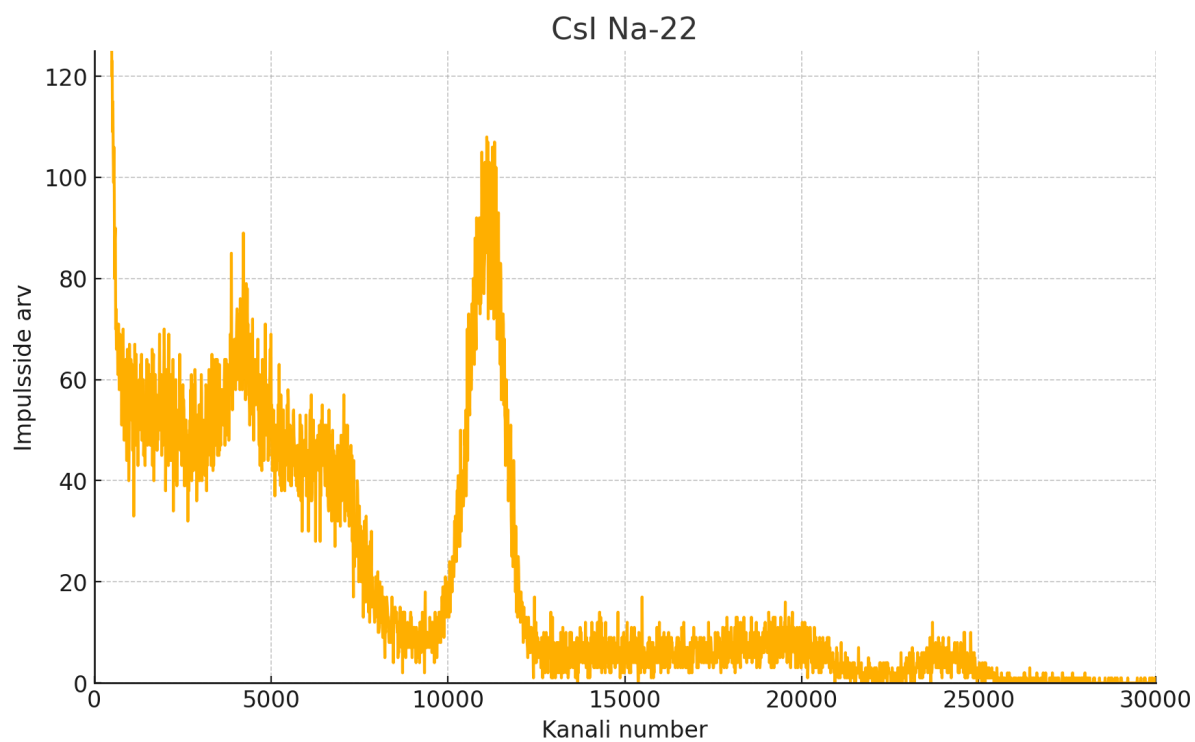
Tööpingeks võtame 54,63 V, see on väärtuse lugesime spektroskoobilt. läviväärtuseks võtsime 80 eV, et lahti saada algsest mürast. Kanali number on proportsionaalne footoni energiaga.



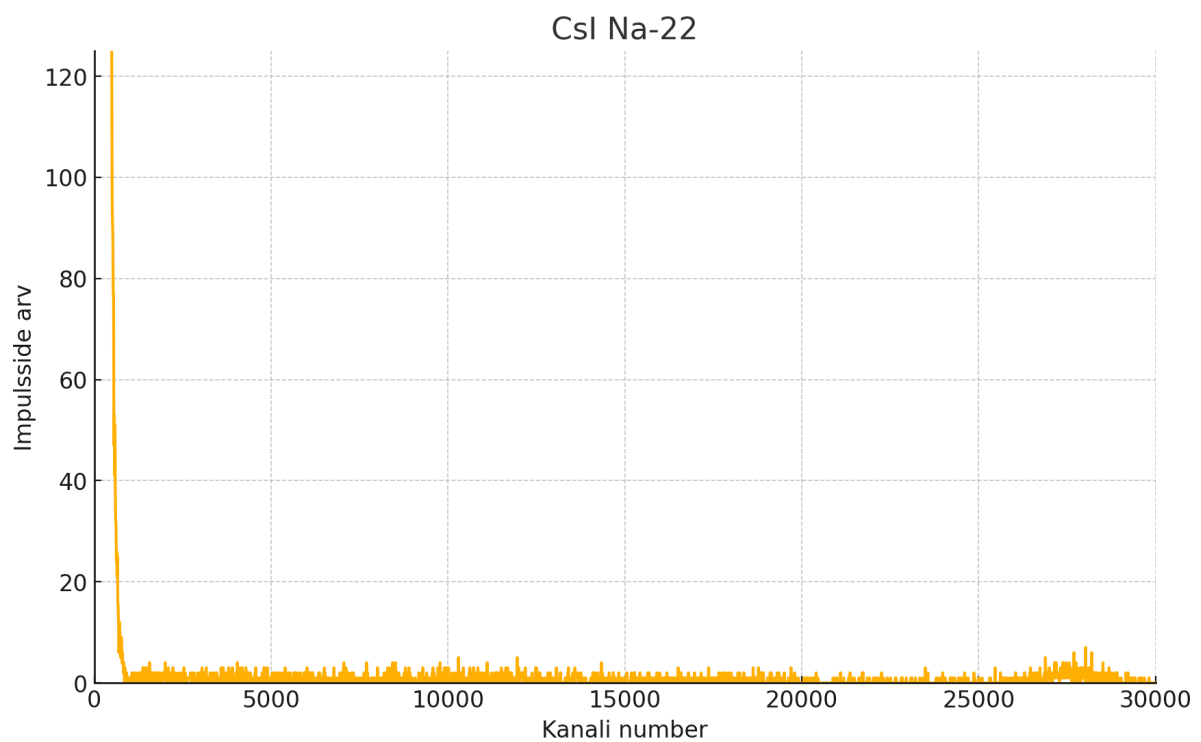
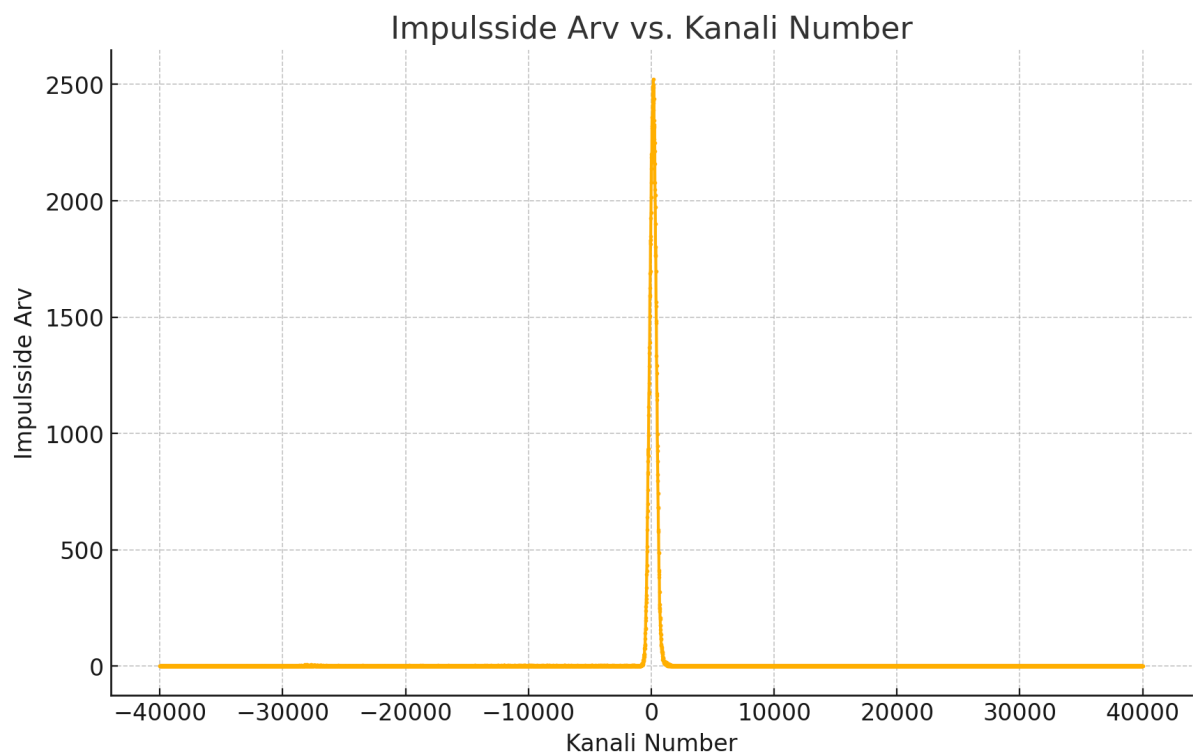
Joonis 1. signaalitrepp

Lõikame 80-st vasakult poolt graafiku ära ja saame platoo.

Nüüd leiame Na-22 spektri



Muudame tööpinget 2 V võrra ja saame järgmise graafiku:

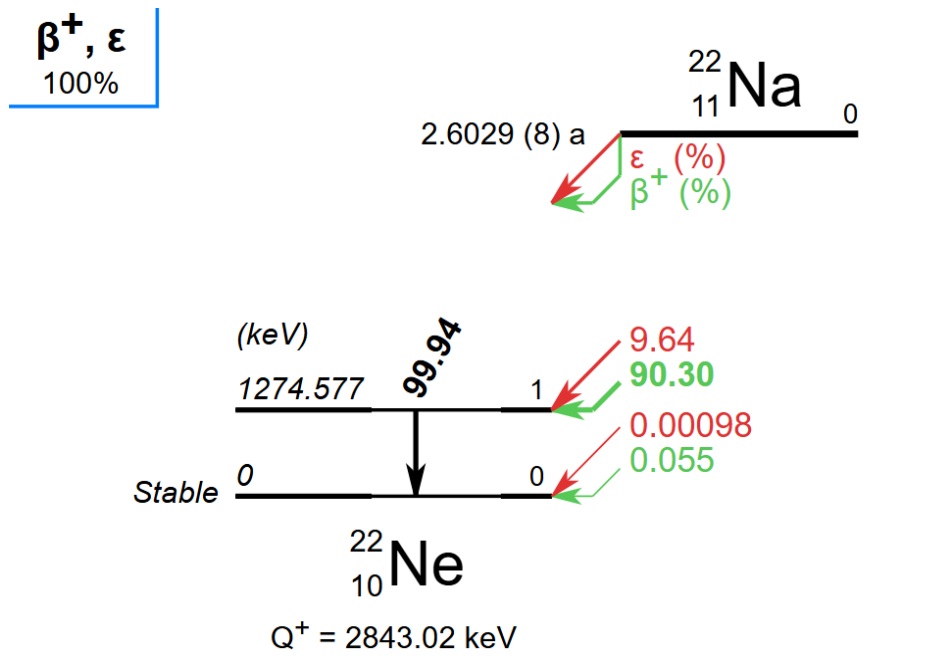


Pinget muutes kaotasime kogu graafiku omapära.

Ülesanne 2. Gammaspektri tundmaõppimine Cs-137 ja Na-22 spektrite näitel

Mõõdame CsI kristalli abil Na-22 ja Cs-137 gamma spektrit 5 minuti jooksul.

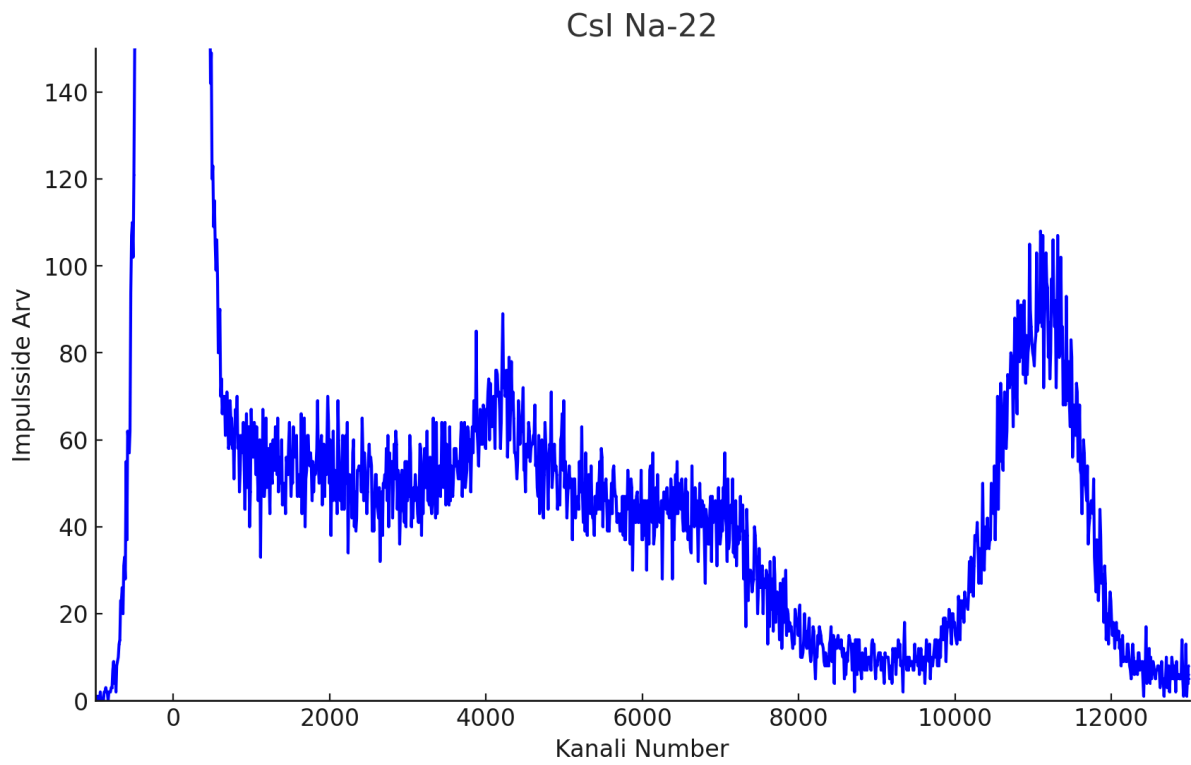
Kuidas Na-22 laguneb



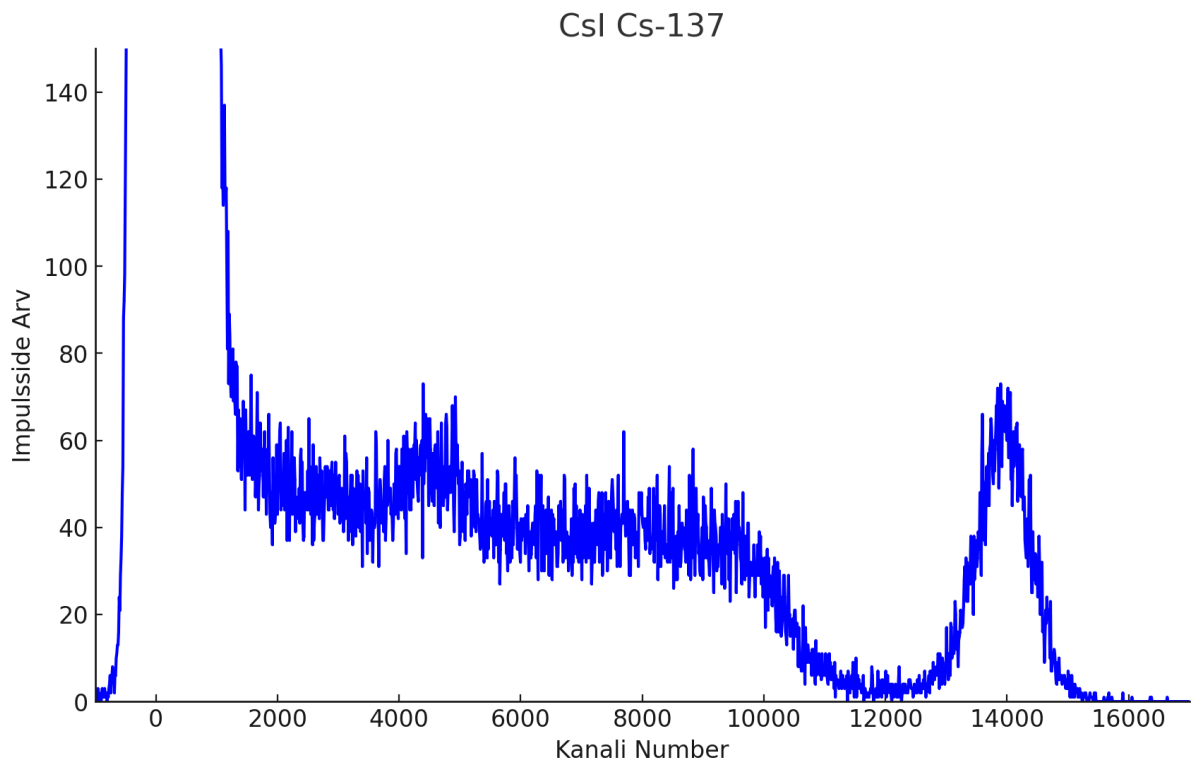
Näeme, et Na-22 laguneb kas elektronhaarde või beta+ lagunemisega ning 99,94 % tõenäosusega kiirgab 1275 keV gamma footoni.

Na-22 puhul on suur 511 keV footoni emiteerumise tõenäosus seetõttu, et Na-22 lagunemisel tekib positron, mis väga suure tõenäosusega annihileerub elektroniga kokkupuutumisel ja tekib kaks footonit energiaga 511 keV.

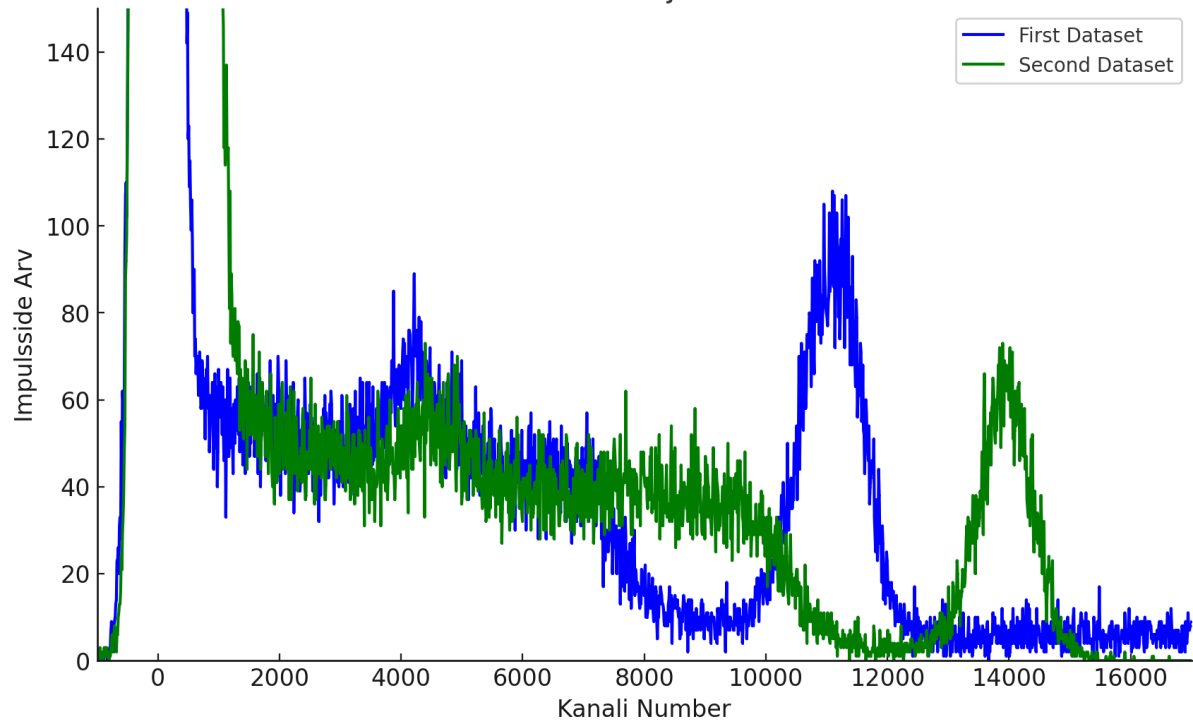
Na-22 spekter



Cs-137 spekter



CsI Cs-137 ja Na-22



Ülesanne 3. Kolme stsintillatsioonkristalli võrdlus

Mõõtsime Na-22 ja Cs-137 gammaspektreid kõigi kolme stsintillatsioonkristalliga: CsI(Tl), LYSO ja BGO.

Kasutatud kristallid on järgmised:

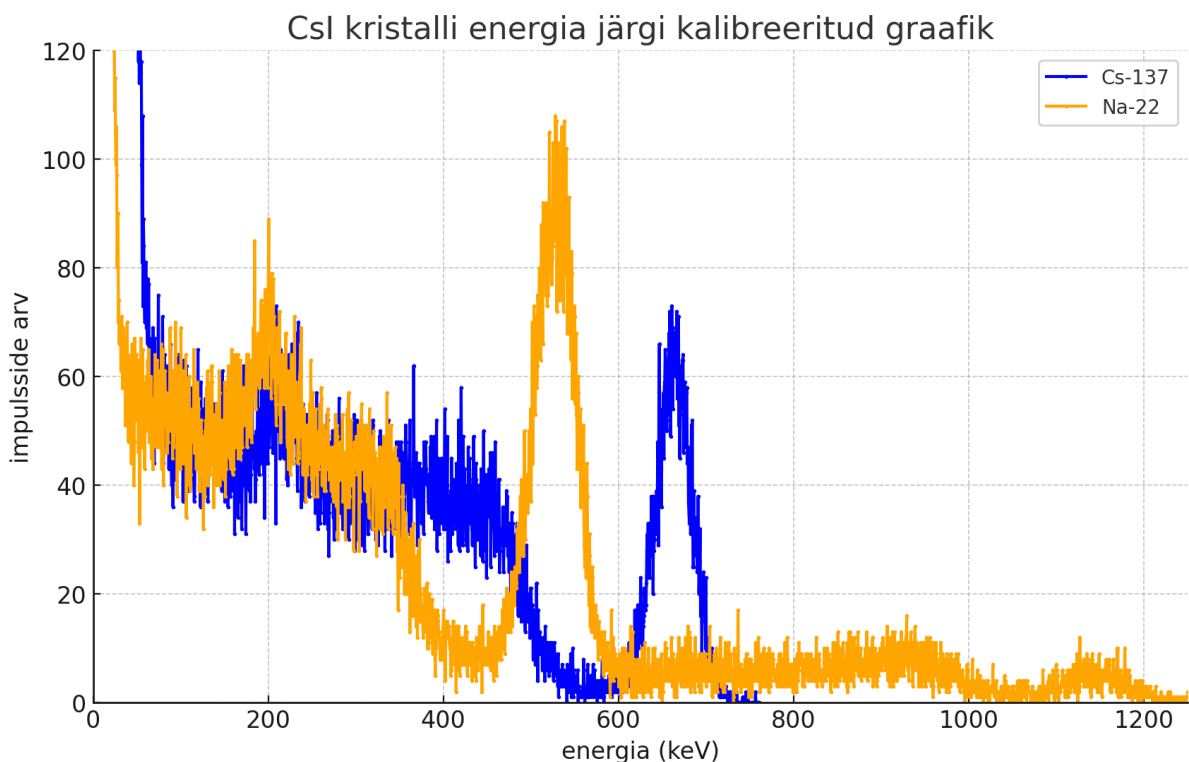
LYSO – $\text{Lu}_2(1-x)\text{Y}_2\text{xSiO}_5(\text{Ce})$ ehk tseeriumiga dopeeritud luteetsium-ütrium ortosilikaadi kristall

CsI(Tl) – tseesiumiodiid-tallium ehk talliumi aatomitega dopeeritud CsI kristall,

BGO - $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ehk vismutgermanaadi kristall

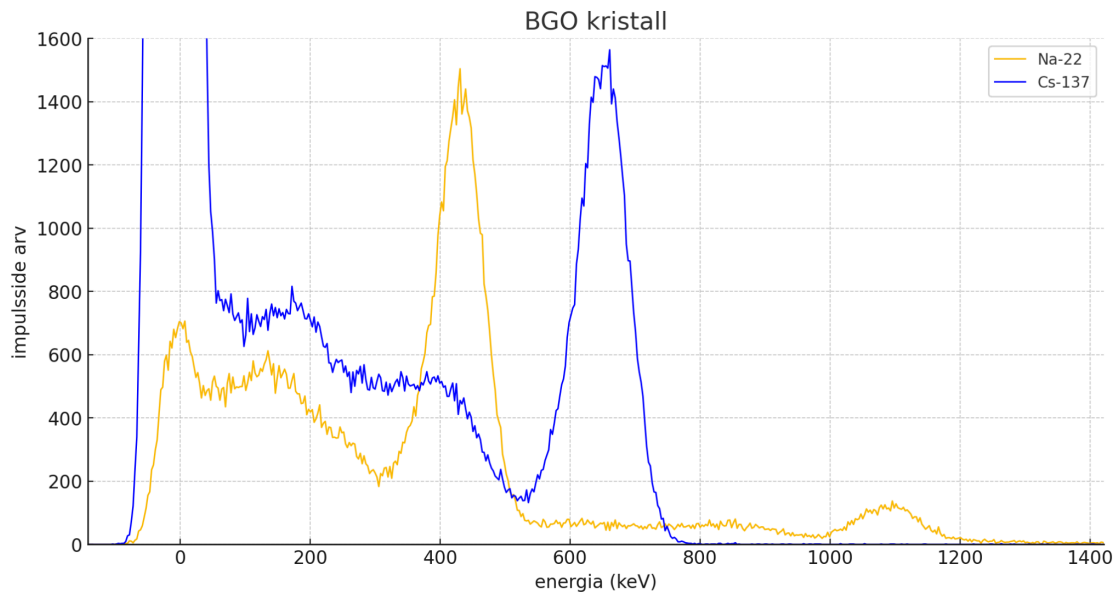
Nüüd tegime energiakalibreeringu, et viia vastavusse kanali number ja antud isotoopide gamma footonite koguenergiajoonte energiatega.

Nüüd leiame CsI kristalli ja Cs-137 allika puhul kanali numbri, mis vastab graafiku lokaalsele maksimumile vahemikus, kus peaks asuma emiteeritud gamma footoni energia. Leiame, et maksimaalne impulsside arv vastab kanali numbrile 13895. Selle peame omakorda panema võrduma energiaga 661 keV. Samuti nullkoha jätame paigale ja saame vastava kalibreeritud graafiku:



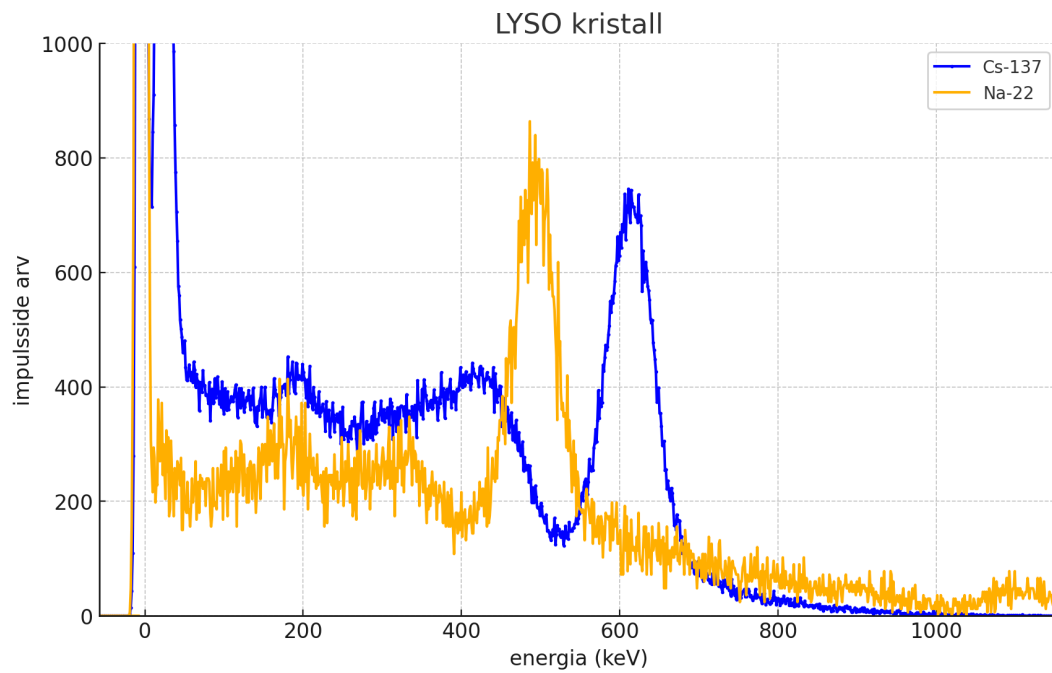
Et saada kanali numbrist energia keV ühikutes peame korrutama kanali numbri arvuga 0.04757106873. Seega energiakalibreeringu sirge võrrandiks saame $y = 0.046x$.

Teeme sama protseduuri läbi BGO kristalli jaoks. Saame graafiku:



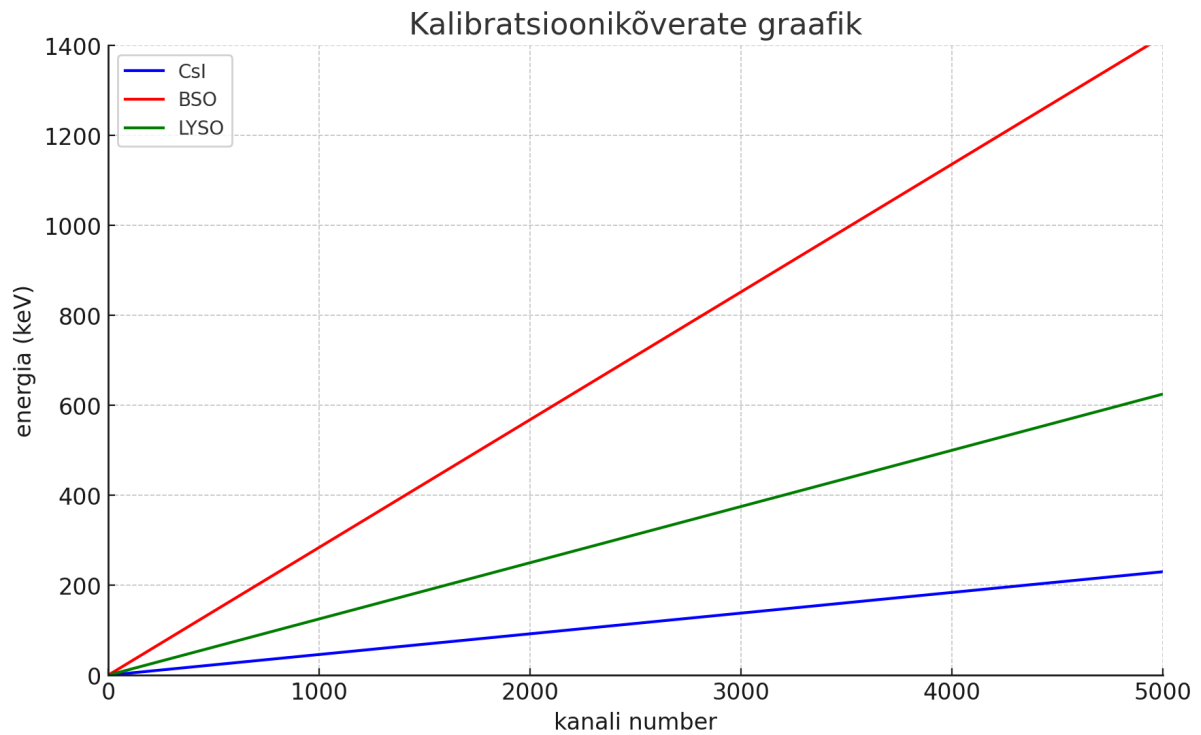
Kanali väärtus, mis vastab energiale 661 keV on 2325. Seega saame energiakalibreeringu sirge võrrandiks $y = 0.284x$.

Teeme sama protseduuri läbi LYSO kristalli jaoks. Saame graafiku:



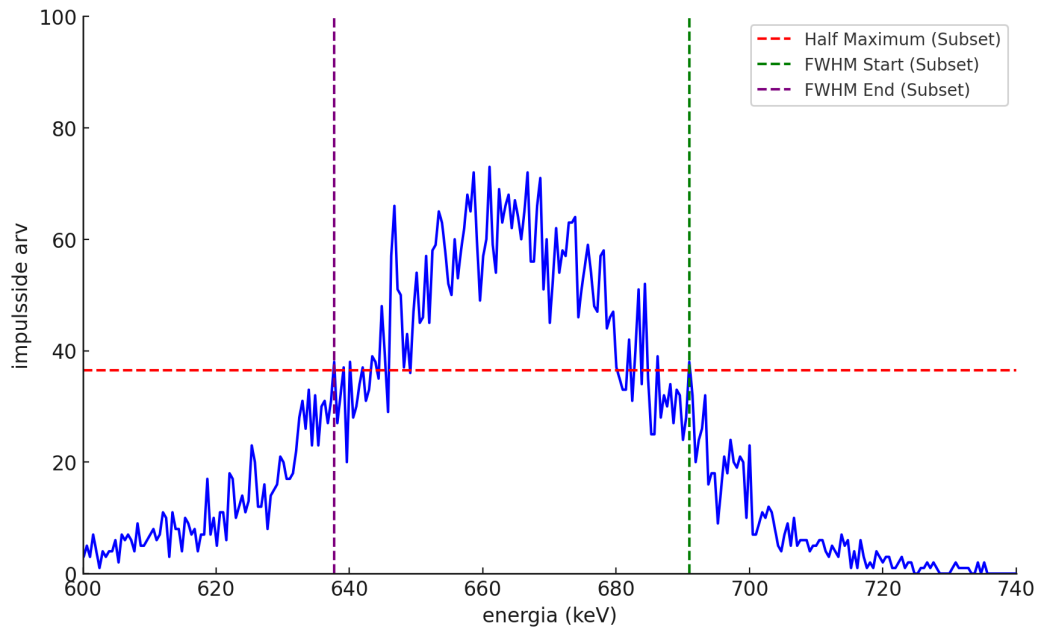
Kanali väärtus, mis vastab energiale 661 keV on 5295. Seega saame energiakalibreeringu sirge võrrandiks $y = 0.125x$.

Kõigi kolme kristalli energiatelje kalibratsioonigraafikud ühel joonisel:

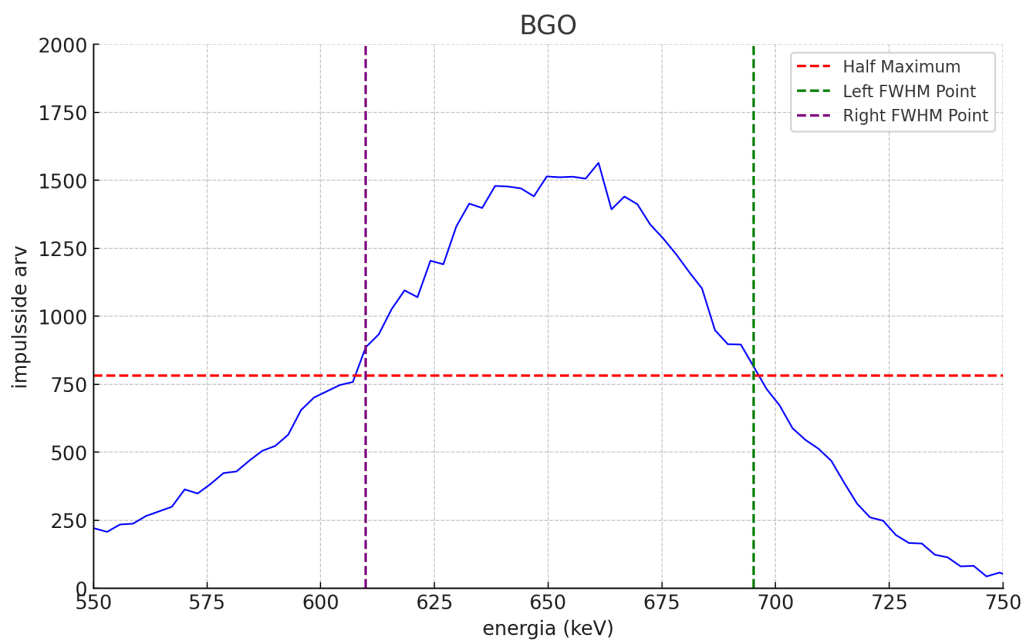


Nüüd arvutame energiareolutsiooni.

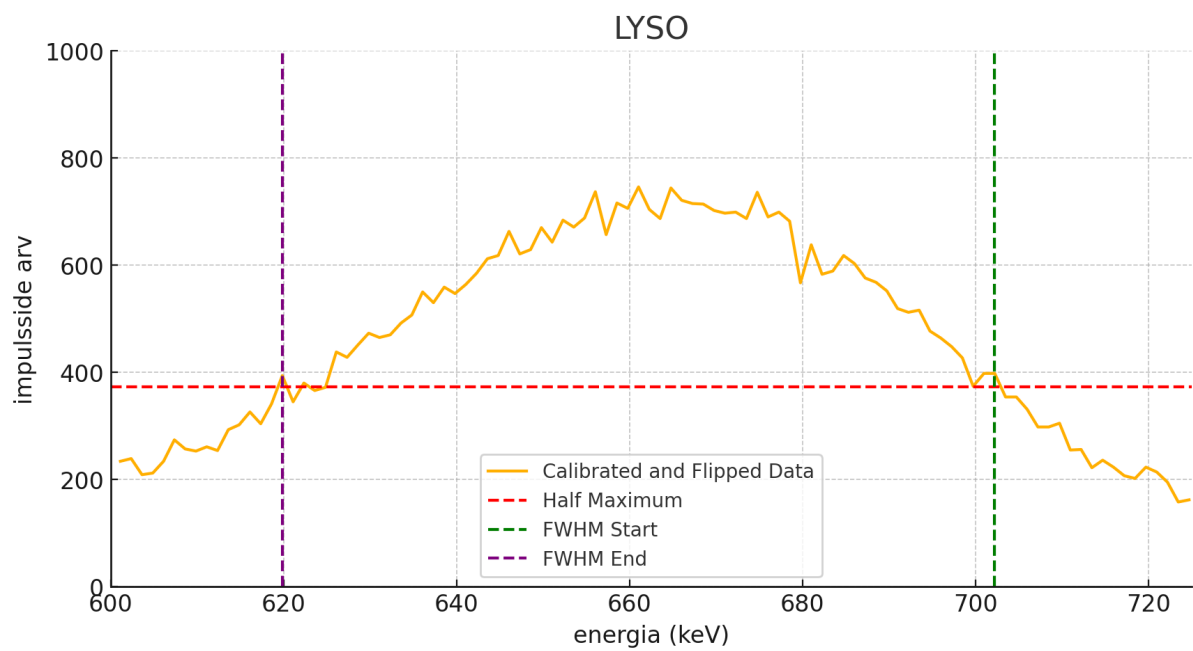
Energiaresolutsiooni hindamiseks kasutatakse koguenergiajoone laiust poolkõrgusel, mis esitatakse gammaspektri energiatelje ühikutes (keV)



resolutsioon: 53.28 keV



resolutsioon: 85.29 keV



resolutsioon: 82.39 keV