

Gammaspektroskopi og Antistof

LAB UGE 14 OG 15 - MEKREL

Mekanik og relativitetsteori, Lab-teamet 2022

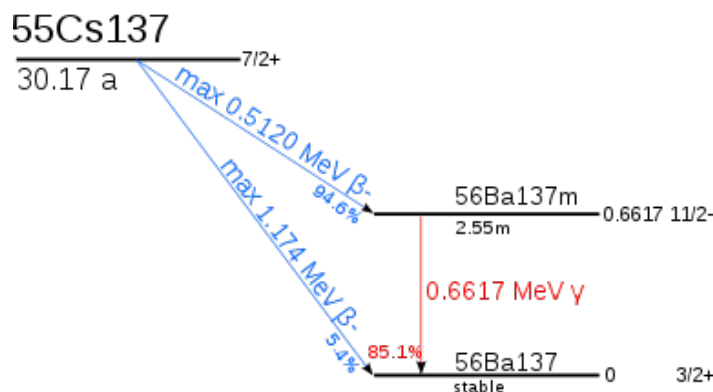
Revideret af Børge Svane Nielsen, Athene Demuth, Jacob Thornfeldt Hansen, Jeppe Grejs Petersen, Julie Harder Gabrielsen, Katrine Rahbek, Sejr Bergman og Selma Færch

Læringsmål

- At lære om radioaktivitet fra atomkernehenfald og om gammastråler og deres energier
- At lære at kalibrere en detektor.
- At lære at fitte et histogram.
- Arbejde med antistof og stifte bekendtskab med en mini-PET-scanner !!

Motivation

Gammastråler udsendes fra atomkerner, når disse er ustabile og henfalder til et lavere energiniveau, på samme måde som lyskvanter fra atomernes elektroner, når disse ændrer energiniveau. Ligesom lys kommer med veldefinerede bølgelængder for hvert grundstof, er energien af gammastrålerne karakteristisk for den kerneovergang, der har forårsaget udsendelsen af et gammekvant. Ofte forårsages gammakvantets udsendelse af et betahenfald, når den kerne, der skabes efter udsendelse af en elektron (beta-partikel), befinder sig i en exciteret tilstand, som så falder ned til grundtilstanden ved udsendelsen af et gammakvant. Det ses f.eks. i tilfældet af isotopen Cs-137, som henfalder ved betahenfald til Ba-137 i en exciteret tilstand, som så overgår til grundtilstanden af Ba-137 ved gammastråling med en energi på 661.7 keV, se figur 1.



Figur 1: Skema af Cs-137 henfald.

Kilde: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cs-137-decay.svg>.

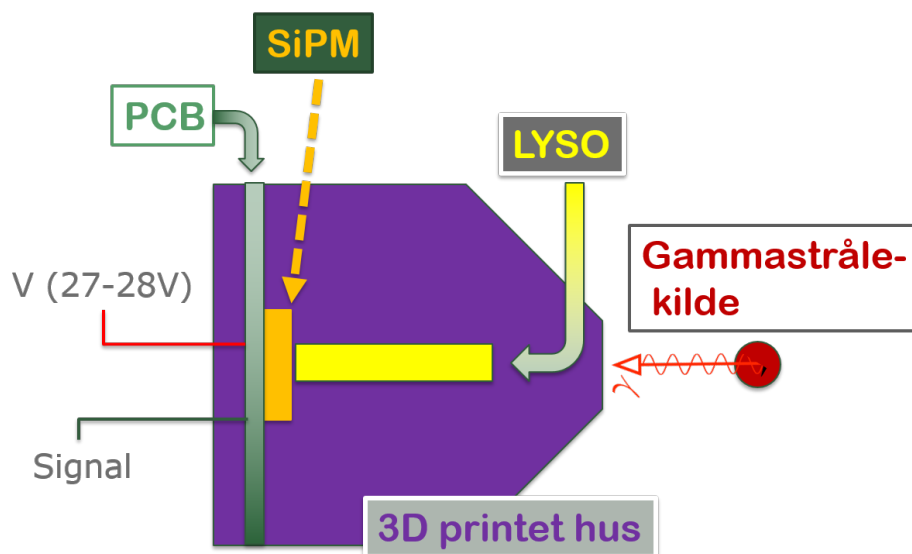
For at vi alle er enige om, hvad et kilo, en meter eller et sekund er, når vi måler disse størrelser, er det vigtigt, at vores måleinstrumenter er kalibrerede efter samme standard. I denne uge skal I først lære at kalibrere en gammastråledetektor. I vil starte ud fra radioaktive kilder, hvor gammastrålingens energi er kendt. Målet med denne del af forsøget er så at bestemme den proportionalitetskonstant, der er mellem den kendte energi og det, I måler med oscilloskopet.

Efter kalibrering af jeres detektor vil I således være i stand til at bestemme energien af en hvilken som helst gammakilde, I måtte blive præsenteret for. Det skal I prøve at gøre. I kan måske bruge resultatet til at forstå, hvad antistof er og hvordan det anvendes i PET-scannere.

Eksperimentet

Opstillingen

Opstillingen består af en detektor, hvori en scintillationskrystal (LYSO = Lutetium-yttrium oxyorthosilicate), som udsender et lysglimt, når den rammes af og absorberer et gammakvant. Lysglimtets størrelse afhænger af gammakvantets energi. Koblethertil er en SiPM (silicon photomultiplier), der er følsom overfor meget små lyspulser. Denne forbindes til en strømforsyning og til oscilloskopet.

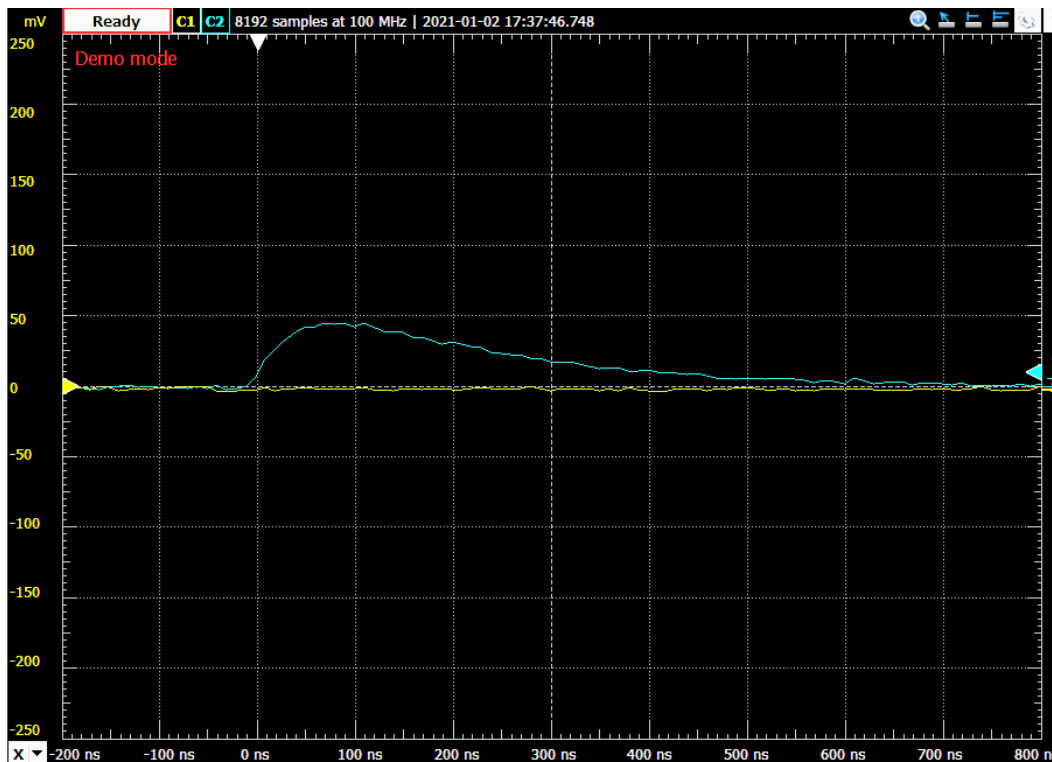


Figur 2: Skematisk tegning af en gammadetektor.

Dataopsamling

Nu indstilles Waveforms til at tage data. Det er et lille, hurtigt signal, og derfor vil et vindue med tidskala omkring 100 ns/div og 50 mV/div være passende. Derudover sættes et triggerniveau på 10 mV. Når oscilloskopet tændes, ses et pulserende signal.

Hver gang et gammakvant eller et baggrundssignal absorberes i detektoren, vil oscilloskopet registrere en puls, hvis karakteristiske tidsfacon afspejler elektronikken i SiPM detektoren, mens pulshøjden er proportional med gammastrålingens energi. Et godt mål, der er proportionalt med energien af gammastrålingen, fås ved at summe pulsen over tid. Vi kan lade oscilloskopet foretage denne sum ved at indføre et script i oscilloskopet, som eksekveres hver gang, der registreres en trigger. Scriptet udregner



Figur 3: Signal fra absorption af et enkelt gammakvant i kanal 2 (blå).

summen og skriver denne ud på en csv fil i en kolonne, hvor hvert tal i kolonnen er summen af signalet for den givne trigger. Enheden af oscilloskopets måling er 'spænding' [V], som integreret over tid bliver 'ladning' [Vs] = [C], som er proportionel med gammastrålens energi i 'elektronvolt' [eV].

Scriptet, som vi har indført i oscilloskopet inden datatagningen, ser således ud (læs koden og diskuter, hvad den gør):

```
[linenos,outencoding=utf8, frame=single,breaklines]{javascript}
ch1 = Scope.Channel1
//ch2 = Scope.Channel2
// Execute based on a condition
if(ch1.measure("Peak2Peak")>0.01){
// Initialize integral:
// What we integrate is proportional to the charge released by the SiPM,
// so we can call it "Charge" to remind us, that this is what is proportional to
// the energy (although we have not yet calibrated the detector).
Charge1 = 0;
// We can do the same for the second channel
//Charge2 = 0;
// Define a threshold
threshold = 0.01
// Estimate area under peak, but only for signals above threshold
ch1.data.forEach(function(s){
if(s>threshold){Charge1 += s}})
// Make data file
var filem = File("~/Skrivebord(scope(CalibrationData/DetXX-Source-02.csv"))
// If it is a new file: write descriptive first line
if(!filem.exist()){
// Write file header for new measurement file
```

```

        filem.writeLine("Data for detector XX, for source XX, taken on DATE")
    }
    // Append measurements to file
    var textm = Charge1
    filem.appendLine(textm)
    // Increase index parameter
    Index++
}

```

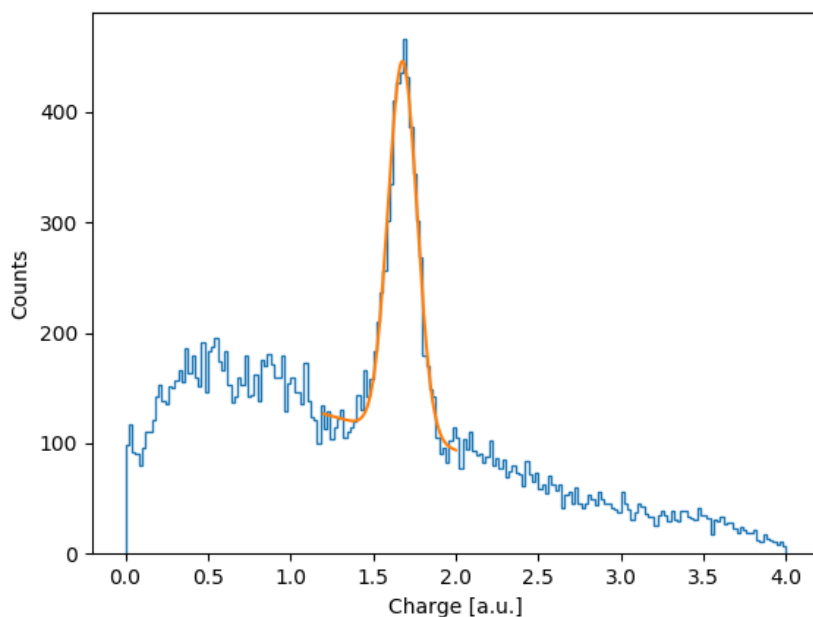
Vi har lavet en text-fil med scriptet, så det er nemmere at copy-paste ind i Waveforms.

Der vælges "Each triggered acquisition" i Execute menuen, og datatagningen begynder. Under dette forsøg skal der opsamles en stor mængde data. Til dette bruges logging indstillingen, som findes under "view" i toppen af Waveforms-vinduet.

Databehandling

Vær opmærksom på, at hver energimåling har en vis måleusikkerhed i forhold til gammastrålens energi, ligesom der er et væsentligt niveau af 'falske' målinger fra baggrundsstråling og elektronikstøj.

I skal først lave et histogram over jeres data og dernæst fitte en Gauss-funktion til den udvalgte peak, således at I kan bestemme gennemsnittet og spredningen af denne peak. I praksis vælger I den peak, I vil undersøge ved at kigge på histogrammet og vælge et interval, hvor peaken findes. Dernæst laver I et fit til en funktion i et interval omkring peaken, som består af en Gauss-funktion plus en lineær funktion, der repræsenterer baggrunden under peaken. Figuren viser et eksempel. I kan nu bestemme peakens position på x-aksen i en arbitrær ladningsenhed.



Figur 4: Histogram med fit af en Gauss-funktion og lineær baggrund.

Første del af ugens opgave: kalibration af detektoren

I skal lave et spektrum med fits til de væsentligste peaks i 2-3 af de radioaktive kilder, I finder i tabellen herunder. I tabellen er også angivet de væsentligste henfaldsmåder (EC = electron capture) og energien af de vigtigste gammastråler fra hver kilde. I kan også lave en datafil, hvor der ikke var nogen radioaktiv kilde i nærheden, som I kan bruge til at vurdere, hvordan baggrunden ser ud.

Isotop	Henfald	Gamma energier [keV]
Am 241	alfa+gamma	12 + 22 + 60
Cd 109	EC+gamma	88
Fe 55	EC+gamma	126
Co 57	EC+gamma	122
Hg 209	beta+gamma	279
Ba 133	EC+gamma	31 + 288 + 356
F 18	positron	511
Na 22	positron+gamma	511 + 1275
Cs 137	beta+gamma	662
Mn 54	EC+gamma	835
Zn 65	EC+gamma	1116
Co 60	beta+gamma+gamma	1173 + 1326
K 40	EC+gamma	1461
Sr 90	beta+beta+gamma	1760

Ud fra dette kan I lave et plot til bestemmelse af proportionalitetskonstanten mellem gammastrålingens energi og den ladning, der er målt med oscilloskopet. Nu har I kalibreret jeres detektor og er klar til næste del af forsøget.

Anden del af ugens opgave: antistof og princippet i en PET-scanner.

Nu udfører I samme forsøg igen med en Na-22 kilde. Identificer og fit peaks og find deres energier v.h.j.a. jeres kalibration fra før.

Den samme Na-22 kilde bruges til at tage datafiler, hvor to detektorer peger på kilden og vi kræver, at begge detektorerne giver signal samtidigt (coincidens). Hvordan gør man det nemmest? I kan lave en datafil, hvor de to detektorer peger imod hinanden med kilden i midten (180 grader) og hvor de peger mod kilden 90 grader fra hinanden. Her giver det mening af kigge på signalernes størrelse i forhold til baggrunden og på tælleraterne i forhold til hinanden. Tag datafilerne over samme tidsrum. Hvad kan I konkludere?

Kan I forklare, hvad der sker i Na-22 kilden? Prøv først om I kan finde ud af, hvad massen af en elektron/positron er i keV ($E = mc^2$). Positronen er elektronens antipartikel og har samme masse som elektronen. I må gerne bruge Internettet for at finde en forklaring, men husk kildeangivelse.

Krav til ugens aflevering

I skal skrive en rapport i IMRAD formatet, som afleveres efter anden labgang.

Som altid skal I huske:

- Navne på alle gruppemedlemmer.
- Dato og tidspunkt for udførsel af forsøget
- Introduktion og kort beskrivelse af forsøgsopstillingen.
- Præsentation af data, databehandling og konklusion.

Denne uges aflevering skal desuden indeholde:

- Eksempel på mindst et histogram med fits samt bestemmelse af gennemsnit og spredning for tre forsøg med forskellige gammakilder.
- Bestemmelse af proportionalitetskonstant mellem energi og målte ladninger.
- Bestemmelse af den ukendte kilde.
- Forklaring på data med to detektorer i coincidens.

Afleveringen må fylde maks 4 sider, og skal afleveres i en .pdf-fil.