

FYS2150 Gammastråling Rapport

student.

(Dated: April 26, 2021)

I dette forsøket er vi interessert i å studere spesiell type av ioniserende stråling, nemlig gammastråling. Hensikten med det er å finne relasjon for hvor ofte og hvor mange slike gammastråling et radioaktiv kilde sender ut. I tillegg, hvordan vi kan beskytte oss mot det. Vi har dermed brukt en GM-teller for å finne svar til dette. Til slutt har vi brukt spektroskopi til å finne ut hvilke radioaktive stoffer finnes i ukjente gjenstander. Vi har funnet ut til slutt at pulsene følger Poissonsfordelingen, og at det kreves 46.52mm blyplate for at den skal absorbere 99% av all utstrålte gammastråling fra en Cs-137 kilde. Fra spektroskopi, har vi funnet at en gammel klokke fra 1950-tallet inneholder deler av Rn-222 og Bi-216 isotoper i seg.

I. INTRODUCTION

Ioniserende stråling er et fenomen som vi er utsatt for daglig, små doser av det er ufarlige, mens større doser kan være fatale. Det er dermed viktig å forstå hvordan dette fungerer og hvordan vi skal håndtere det. Gammastråling er et eksempel på ioniserende stråling, og det er noe som vi skal jobbe med i denne artikkelen ved å måle den med GM-telleren. Vi skal finne ut hvordan spredningen av denne gamma-stråling oppstår ved hjelp av sannsynlighet og hvordan vi kan bruke målingene for å bestemme det. Ved å vite at slike strålinger kan være farlige, er det viktig å ha metoder som kan beskytte oss mot det. Videre skal vi gå over til digitale målingssystemer, som gammaspektroskopi. Dette kan vi bruke for å for eksempel finne ut kilder for gammastrålingen ved å måle det på ukjente gjenstander.

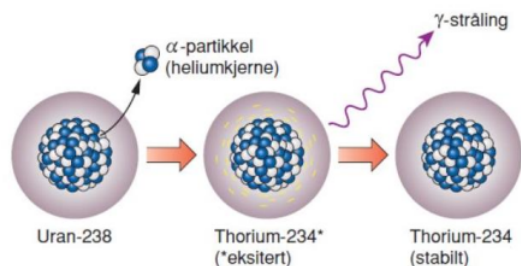


Figure 1. Her ser vi et illustrasjon hvor Uran-238 isotopet sender ut et alfa-partikkel. Når den har gjort det henfaller den til Thorium-234 isotopet, denne isotopen er da eksitert og dermed betegner vi den med * tegnet. Denne isotopen holder seg ikke eksitert lenge, og sender ut et stråling og blir til et stabil isotop

II. TEORI

1. GM-teller og telleraten

I dette forsøket studerer vi en spesiell type av ioniserende stråling som er gammastråling. Gammastråling er et resultat av et alfa- eller betahenfall, som etterlater kjernen i en eksitert tilstand. Når atomet er i et eksitert tilstand, er den ustabil og vil søke å sende ut energi så fort som mulig. Energien blir sendt ut som et gamma bølgepakke. GM-telleren er da et detektor som ser etter disse gamma bølgepakkene, og hver gang GM-telleren observerer en slik gamma-bølgepakke, teller den det som en puls (k).

Vi ofte velger (blant annet i dette forsøket) å måle en slik radioaktivitet i telleraten. Telleraten (n) er definert som antall pulser i gitt tid

$$n = \frac{k}{t}$$

2. Sannsynlighet og poissonsfordeling

Slik vi kommer til å finne ut i dette forsøket, er radioaktivitet et sannsynlighetsfordelt fenomen. Det vil si at disse gamma-bølgepakkene blir sendt ut tilfeldig. Al- likevel kan vi beskrive disse tilfeldige utstrålingene med et model. Denne modellen er sannsynlighetsbaser og heter Poissonsfordeling. Vi har et uttrykk for den,

$$P(k) = \frac{m^k}{k!} e^{-m} \quad (1)$$

Hvor m er forventet antall pulser i tiden t , og k er antall pulser i samme tid t . Ved å vite antall k , kan vi tilnærme m ved å ta gjennomsnittet av k . Altså $\bar{k} \approx m$.

3. Absorpsjon av ioniserende-stråling og svekkingskoeffisienten

Materialer har et evne til å absorbere ioniserende-stråling. Forskjellige materialer gjør dette bedre enn andre eller omvendt. Dette er da bestemt av materialets svekkingskoeffisienten μ . Vi kan da bruke forskjellige materialer som et slags skjold mot ioniserende-stråling. Jo tykkere dette skjoldet er, desto mer absorberer dette skjoldet stråling. Dermed hvis vi hadde hatt et

radioaktiv kilde, GM-telleren og et slik skjold mellom de, skal GM-telleren måle mindre pulser avhengig av skjoldets tykkelse. Dermed ved å plotte $\ln(n)$ mot skjoldets tykkelse kan vi finne svekkingskoeffisienten til skjoldet.

Det er mulig å finne ut prosentdel av absorbert stråling ved denne ligningen,

$$\frac{\ln(p)}{\mu} = d$$

hvor p er prosent av ikke absorbert stråling i desimalform, og d dets tilsvarende tykkelse av materialet.

4. Aktiviteten til en radioaktiv kilde

Aktivitet er antall pulser per sekund. Vi kan finne kildets aktivitet ved å vite den halveringstid. Radioaktive kilder som har stor masse er vanligvis ustabile, dermed sender de ut alfa- og beta stråling, på denne måten henfaller disse kildene ned til lettere elementer. Tiden det tar for et element til å falle halveis til siste element kalles halveringstid. Vi kan altså finne aktiviteten ved bruk av dette uttrykket,

$$A(t) = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t} \quad (2)$$

Hvor A_0 er sist målt aktivitet, $t_{1/2}$ er halveringstid og t er gitt tid etter den siste målingen A_0 .

5. Effektiviteten til GM-teller

For å finne effektiviteten til GM-teller, benytter vi oss dette uttrykket,

$$E = \frac{n_r - n_b}{A \frac{\Omega}{4\pi}} \quad (3)$$

Her er n_r og n_b kildets- og bakgrunnstelleraten. A er aktiviteten som vi nettop har nevnt, og Ω er steradianer.

Vi finner steradianer ved å dividere arealet til overflaten til GM-telleren (hvis GM-telleren har et mønster slik arealet A i figur 2 er) på avstanden fra kilde som strekker seg til overflaten til GM-teller slik figur 3 illustrerer.

6. Spektroskopi

En vanlig spektroskopi graf ser ut som figur 4 viser,

Vi ser at x-aksen er delt inn i kanaler. Hver kanal tilsvarer et energimengde som vi ikke vet. Når GM-telleren mottar et et puls, sendes denne i et bestemt kanal, og hvis GM-telleren mottar en puls til med samme

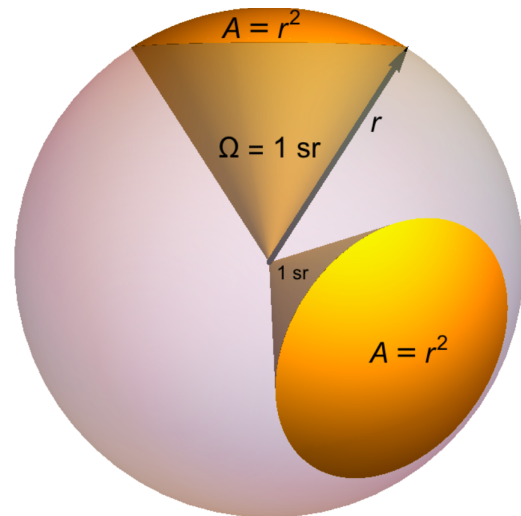


Figure 2. Her ser vi at kule som beskriver steradianer.

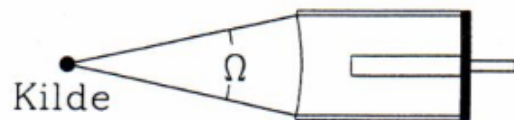


Figure 3. Et illustrasjon av opsette når vi måler kildets pulser med et rørformet GM-teller

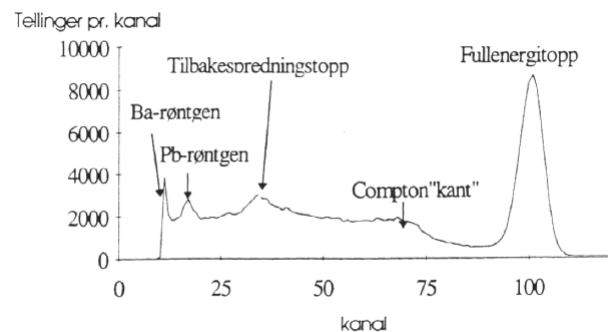


Figure 4. Et vanlig spektroskopigraf. X-akse er delt inn i energikanaler, og y-akse er tellinger per kanalen

energi, vil den bli sendt til samme kanal. For å få en nyttig spektroskopi, trengs den for å bli kalibrert med kjente kilder først. Hvis vi vet for eksempel hvilken energi en bestemt kilde har på fullenergitoppen, kan vi kartlegge denne i spektroskopi grafen vår. Da vet vi at for eksempel kanal 100 tilsvarer det spesifikke energien som er kjent.

Vi kan uttrykke energi ved hjelp av kanal ved dette uttrykket,

$$E = \Delta EI + E_0 \quad (4)$$

Her er ΔE dispersjon, I kanal og E_0 nullpunktsenergi. Her er dispersjon og nullpunktsenergi ukjent før man har kalibrert den. Det er dermed viktig å se på to kjente energi topper. Det trengs to punkter (energi, kanal) som har energi og sitt tilsvarende kanal. Ved å plote disse to punktene kan vi gjøre et linær tilnærming. Stigningstallet til denne tilnærmingen er da dispersjon, og konstantleddet er nullpunktsenergi.

III. EKSPERIMENTELT

Vi benytter en sylindrisk GM-detektor (PASCO Scientific GM25) som er opphengt i et stativ og koblet til en pulsteller slik figur 5 illustrerer.

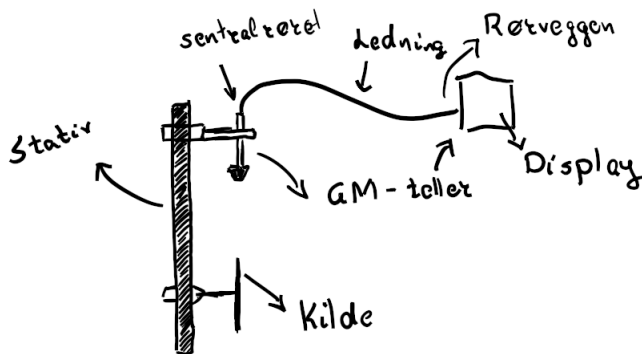


Figure 5. Oppsett til sylindrisk GM-teller som måler på Cs-137 kilde

Deretter stiller vi spenningen U mellom sentraltråden og rørveggen til GM-røret på 400V. Vi tar måling i 10 sekunder og tilpasser avstand mellom kilden og GM-telleren slik at vi måler 40 pulser i løpet av 10 sekunder.

Etter at vi setter dette opp, utfører vi det samme målingen 100 ganger men denne gangen velger tidsintervall til å være 1 sekund. Etter målingene er vi da istand til å finne empirisk gjennomsnittet til pulsene som er tilnærming for m som vi har nevnt i teori delen II.

Før man tar målingene, kan det være lurt å inspekttere instrumentene man bruker. For eksempel det om instrumentet har et lokk. Da er det sikkert lurt å ta den av når man gjør måling.

Vi ønsker å finne effektiviteten for GM-telleren. I teori seksjonen har vi et uttrykk 3 som hjelper oss finne effektiviteten. Vi ser utifra uttrykket at vi trenger å vite bakgrunnstråling, vi dermed fjerner kildet og lar GM-telleren kjøre og måle i 60 sekunder. Deretter, setter vi Cs-137 tilbake, men velger avstand til å være 15 cm unna GM-tellerrøret, og tar måling i 60 sekunder.

Dermed har vi verdiene for n_r og n_b .

Deretter trenger vi å finne aktiviteten til kilden. For vårt tilfelle, har det blitt gjort måling på aktiviteten til Cs-137 i 2003 årene, og da ble det målt at aktiviteten er på 190kBq. Fra datablandene kan vi se at halveringstid for Cs-137 er på 30.2 år, og dermed har vi alt for å finne den riktige aktiviteten i dette tidspunktet ved bruk av ligningen 2.

1. Absorpsjon av gammastråling

I den neste delen av våres forsøk, skal vi prøve å absorbere ioniserende stråling. Dette skal vi gjøre ved å plassere blyplater mellom en kilde og GM-telleren. Figuren 6 illustrerer det nye oppsette

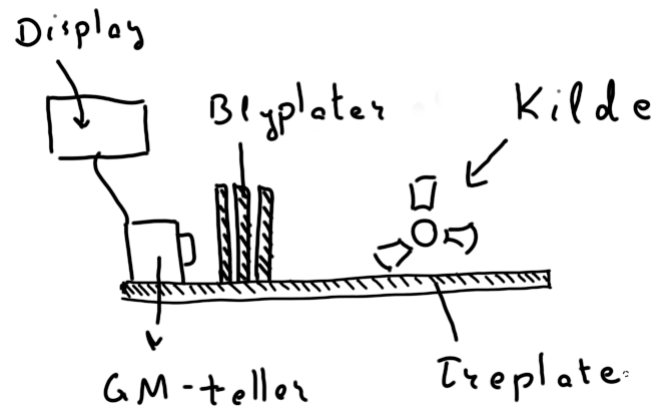


Figure 6. Her setter vi blyplatene mellom kilde og GM-telleren. Avstandene i illustrasjonen er overdrevet, i forsøket prøver vi å sette alle komponenter så nær hverandre som mulig.

Vi stiller igjen spenning U mellom sentraltråden og rørveggen til GM-røret (Philips type 18503), men nå stiller vi den på ca 600V. Her er vi igjen interessert i bakgrunnstråling, og dermed måler vi det i 10 minutter. Her passer vi og setter alle blyplatene på GM-telleren før vi begynner å måle bakgrunnstråling.

Her antar vi noe som kan gi et relativt stor feilkilde, men liten nok, og dermed velger vi å neglasjere den. Vi har 5 blyplater, men vi antar at vi har bare 1 plate som vi kan justere tykkelse på. Dermed skal vi legge hver plate på hverandre og gjøre målinger ved å anta at vi bare øker tykkelsen på den ene plata.

Når vi tar måling, observerer vi antall pulser som inntreffer, og noterer tiden som det tar å nå 1000 pulser for hver tykkelseforandring.

Når vi har målingene, velger vi å finne telleraten ved

$$n = \frac{k}{t}$$

Hvor k er antall pulser (i vårt tilfelle 1000) i gitt tid t . Her må vi passe på å ikke glemme korrigere telleraten med tanke på bakgrunnstråling.

Når vi har funnet de reele telleraten, kan vi representere det ved å plotte $\ln(n)$ mot blytykkelsen. Med det plotte kan vi deretter finne et linæartilnærmin, noe som forteller oss stigningstallet som har et fysisk tolkning for svekkingskoeffisienten μ .

Når vi har funnet svekkingskoef. μ kan vi da finne ut hvor tykt blyplaten må være slik at den skal absorbere bestemt mengde (i prosent) av ioniserende stråling.

2. Gammaspektroskopi

Vi beveger oss videre til spektroskopi, her skal vi ta spektroskopi av gammastråling. For å kunne måle og få ut nyttig informasjon fra ukjent stoff spektroskopi, må vi først kalibrere dette med et kjent stoff. For disse kjente stoffene skal vi bruke Cs-136 og Na-22. figur 7 illustrer oppsettet.

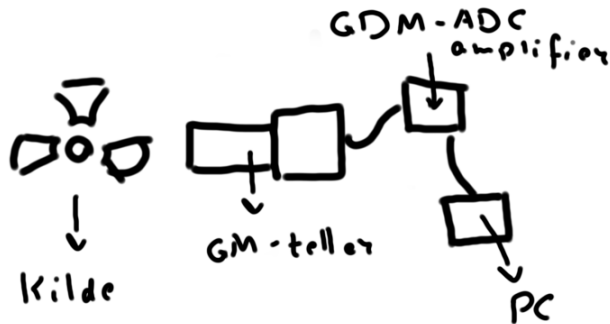


Figure 7. Oppsettet, her har vi GM-teller som er koblet til GDM-ADC amplifier som er da koblet til datamaskin hvor vi kan se plottene

Vi begynner først ved å ta spektroskopi av Cs-136 og studerer det. Der utifra teorien forventer vi å ha et fullenergitopp, og dermed tar vi lang nok måling slik at vi kan notere i hvilket kanal denne energien finnes.

Deretter bytter vi kildet fra Cs-136 til Na-22, utifra teorien forventer vi to synlige topper, en som skildes fra

fullenergitopp og den andre som skildes fra positronannihilasjon. Målet våres nå er å kalibrere våres spektroskopi ved hjelp av ligning 4 som krever verdi til dispersjon og nullpunktsenergi. Disse kan vi finne ved ta for oss disse to punktene

$$P_1 = (E_{Cs-136}, k_{Cs-137})$$

$$P_2 = (E_{Na-22}, k_{Na-22})$$

Hvor E er energi til fullenergitoppen for bestemt stoff. Disse har vi oppgitt i databladene. For Cs-136 er denne energien på 662keV, og for Na-22 er den på 1275keV. k er da den noterte kanalen for fullenergitoppen.

Dermed ved å ha disse punktene, plotter vi de og lager et linær regresjon som går gjennom disse punktene. Slik vi har nevnt i teoridelen, må stigningstallet være dispersjon og konstantleddet være nullpunktenergi.

Etter kalibrering, er vi da i stand til å måle ukjente gjenstander. Vi dermed velger her å plassere et klokke som er produsert før 1950 tallet. Grunnen til dette er i disse årene har vi malt disse klokkene med maling som inneholder radioaktive stoffer, derfor skal vi prøve å se om det er noe tegn eller spor for henfall for noe av disse radioaktive stoffer.

IV. RESULTATER

I den første delen utførte vi 100 målinger, hvor hver måling er antall pulser i 1 sekund. Apendix A inneholder en liste av alle 100 målingene. Fra disse målingene velger vi å lage et histogram som er vist i figur 8

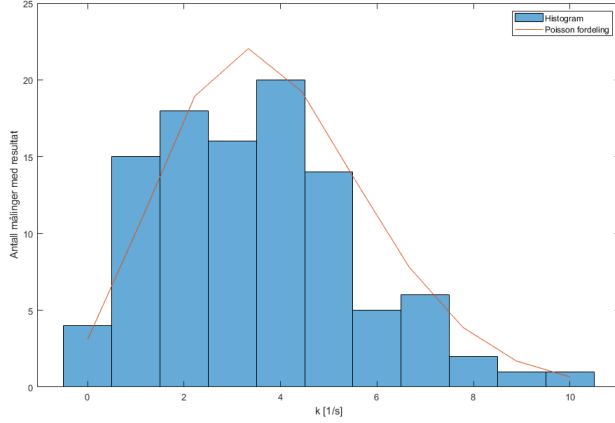


Figure 8. Histogram for de 100 målingene sammen med Poissonfordelingen

Vi tillegg finner gjennomsnittsverdi \bar{k} for alle målingene, og finner at den er på $\bar{k} = 3.49$. Det vil si at dette er forventningsverdi for antall pulser målt i et sekund. I tillegg, utifra teorien vet vi at dette er da tilnærming på m . Ved bruk av matlab innebygde funksjoner er vi også i stand til å finne standardavvik som er da tilnærmet for σ . Det finner vi at den har verdi på $\text{std} = 2.09 \approx \sigma$. Vi har tillegg $\sqrt{\bar{k}} = 1.87$.

Ved å ha all dette, er vi istand til å bruke Poissonfordelingen, altså det teoretiske fordelingen for pulsene ved bruk av ligning 1. Denne er da plottet i samme figur med histogram, altså figur 8

Deretter valgte vi å finne effektiviteten til GM-telleren. Vi har da målt bakgrunnsstråling, og den var på 39 pulser i løpet av 60 sekunder. Når vi satt kilden på plass med 15cm unna måleren, målte vi 180 pulser i løpet av 60 sekunder. Siden telleraten er definert som antall pulser i løpet av et bestemt tid, er telleraten da på

$$n_b = 0.65$$

$$n_r = 3$$

For aktiviteten bruker vi ligningen 2. Vi har nevnt at $A_0 = 190\text{kBq}$, halveringstid for Cs-137 er på 30.2 år, og det har gått 18 år siden måling for A_0 , dermed denne dagens aktivitet må være på

$$A(18) = 190\text{kBq}e^{-\frac{\ln 2}{30.2}18} = 125\text{kBq}$$

Deretter fant vi steradianer. Fra databladet er vi oppgitt at arealet til GM-tellerens røret er på $121\pi \text{ mm}^2$. Lengden fra kilden og GM-måleren har vi allerede bestemt, som er 15cm eller 150mm. Dermed må steradianen være 0.017sr.

Ved bruk av ligningen 3 finner vi ut at effektiviteten er på 1.4%

Absorpsjon av ioniserende stråling

Før vi setter frem strålingskilde, velger vi å sette frem alle blyplatene som tilsvarer tykkelse på 17.81mm og måler bakgrunns stråling. Vi måler 154 pulser iløpet av 10 minutter.

Dermed setter vi Cs-136 kilden 18mm unna GM-måleren og øker tykkelsen for blyplaten.

Table I. Absorpsjonstykkelse

Tykkelse av blyplate (mm)	Tid det tar for 1000 tellinger (sek)
0	23.45
3.6	34.93
8.68	55.81
11.69	76.08
14.77	105.48
17.81	133.83

Dermed har vi laget et array med alle tilsvarende teller- atene (som er korrigert med tanke på bakgrunnstråling). Ved å plote $\ln(n)$ mot blytykkelsen får vi et plott som er vist i figur 9

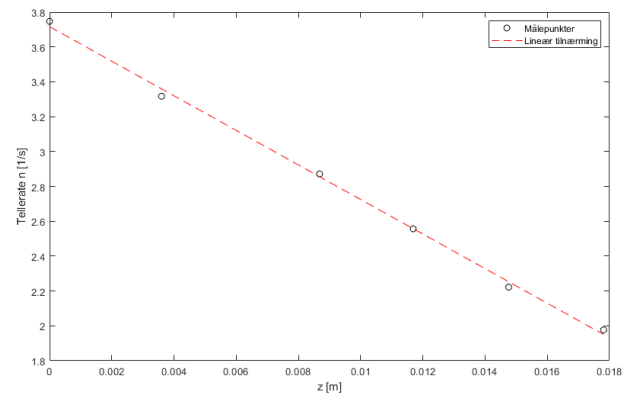


Figure 9. Her ser vi 5 punkter som er tilnærmet på en rett linje

Vi lager også en linær regresjon av målingene som er også plottet på figur 9. Stigningstallet til denne linære

regresjonen er 0.099 1/mm. Dermed ifølge teorien må dette være verdien til svekkingskoeffisienten μ

Gamma-spektroskopi

Figur 10 viser spektroskopi av Cs-136

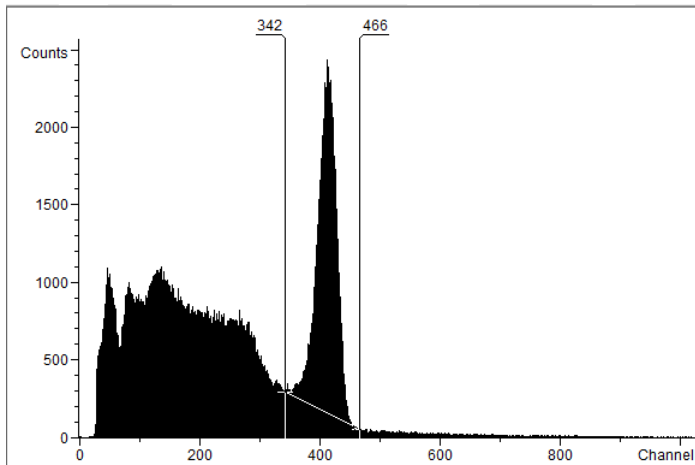


Figure 10. Spektroskopi av Cs-136

Figur 11 viser spektroskopi av Na-22

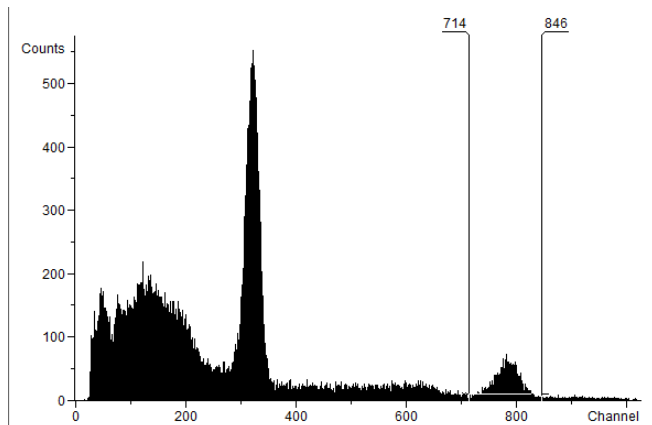


Figure 11. Spektroskopi av Na-22

Slik vi har nevnt i eksperimental delen, forventer vi toppenergi toppene fra begge spektroskopiene, noe vi klart kan se i figur 10 og 11. Allikevel, ser vi to topper i figur 11, her har vi valgt å anta at fullenergitoppen ligger på kanal som vi observerer til å være 782. Se diskusjons seksjon for grunnen hvorfor vi antok at akkurat den andre "spiken" er fullenergitoppen

Utifra teorien vet vi at fullenergifor Cs-137 er på 662keV, og i figur 10 har vi observert at denne fullenergitoppen ligger på kanal 411. For Na-22 derimot, vet

vi at fullenergi er på 1275keV og vi observerer at den ligger på kanal 782. Dermed har vi to punkter

$$P_1 = (662\text{keV}, 411)$$

$$P_2 = (1275\text{keV}, 782)$$

Ved å plotte disse to punktene og lage et linær tilnærming som går gjennom disse to punktene finner vi ut av at stigningstallet til denne tilnærmingen er på 1.64, og konstantleddet er på -15.69. Dermed har vi dispersjon og nullpunktsenergi,

$$\Delta E = 1.64\text{keV}$$

$$E_0 = -15.69\text{keV}$$

Dermed ved bruk av ligningen 4 finner vi ut at vi kan uttrykke energien utifra kanalene (I) ved

$$E = 1.64I - 15.69$$

Deretter har vi kalibrert våres spektroskopi og kan måle ukjente stoffer. Figur 13 viser spektroskopi av et klokke som er fra 1950-tallene.

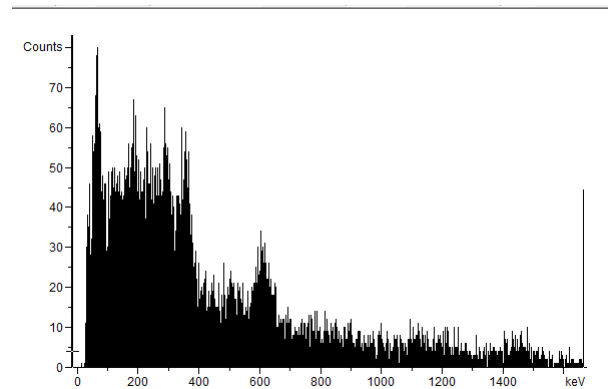


Figure 12. Caption

Fra denne spektroskopi har vi observert topper som er på 185keV og 351keV, noe som indikerer at det er Rn-222 og Bi-216 isotoper inn i klokken.

V. DISKUSJON

på siste, forklar hvorfor vi ser at fullenergi er på kanal 781 og ikke på 321 for Na-22.

Utifra teorien vet vi at et radioaktiv kilde sender ut gammastråling, disse strålene har vi sett nå at vi kan måle som pulser. Det vi har merket nå er at disse pulsene kommer tilfeldig, det er ikke et akkurat bestemt serie rekkefølge mellom hver puls, dermed har vi tenkt oss at disse puslene må være sannsynlighetsfordelt. Det

er nettopp det vi ser på første delen av eksperimentet. Pulsene følger normalfordeling! Det som kreves, er å ta mange nok målinger slik at vi ser normalfordelingsmønster. Vi har dermed begynnet med å ta 100 målinger og laget et histogram som hjalp oss med å finne tilnærming til denne fordelingen. Vi hadde fått et bedre tilnærming hvis vi hadde gjennomført flere målinger, dermed ville vi ha funnet bedre tilnærminger for m og σ . Effektiviteten er også en ganske jevn aproksimasjon, som kan komme for eksempel fra aktivitets måling, siden vi tar ikke hensyn til måneder etter siste aktivitets målingen har blitt gjort. I databladene er vi blitt opgitt i hvilket år siste målingen ble gjort, men ikke i hvilket måned. Dette kan være et feilkilde siden vi vet ikke om siste måling ble gjort i for eksempel januar eller desember.

Når vi skulle måle absorpsjonstykkelse, ser vi fra figur 9 at punktene ligger relativt i et jevn rett linje, selvom vi ikke tar hensyn at blyplaten er delt i 5 flere mindre plater. Siden blyplaten er satt sammen av flere mindre plater, er tykkelsen større enn det vi tenker den er, siden det er et mellomrom av luft mellom hver plate. I tillegg må vi måle hver plate for seg, noe som kan gi både systematiske og relativ usikkerhet. Allikevel, ser vi at våre antagelse gir fortsatt gode resultater som er forventet. Ved svekkingskoeffisient som vi har funnet, kan vi da for eksempel finne hvor tykk denne blyplaten må være til å absorbere et bestemt prosentdel av stråling. Hvis vi tar for eksempel 90%, så må blyplaten være

$$\frac{\ln(0.1)}{0.099} \text{ mm} = 23.26 \text{ mm}$$

mens for 99% må tykkelsen være på 46.52 mm. Gjennom forsøket, har vi merket hvor lite tykkelse kreves for å gi stor forandring av antall målte pulser, dermed disse tykkelsene for å absorbere 90% og 99% er realistiske.

Når vi ser på figur 10 og 11, vi se veldig mange topper i lave kanaler. Dette kan da forklares som et slags støy. Vi har allerede nevnt i introduksjonsdelen at i hverdagen er vi utsatt for ioniserende stråling, og vi har målt bakgrunnstråling før vi begynte målingene på kildene. Dermed kan vi tenke oss at de toppene i lave kanalene er nettopp disse bakgrunnstråling. I tillegg bakgrunnstråling antas som lav energi ioniserende stråling, der derfor vi kan se dem i lave kanalene.

I figur 10 har vi antatt at fullenergitoppen er på kanal 782 og ikke på 321. Vi har gjort denne antagelsen på grunn av at vi har sett at fulltoppen energi toppen for Cs-136 er på kanal 411, og fulltoppen energien til Cs-136 er på 662keV. Siden fulltoppen energien til Na-22 er mye større, som er på 1275keV, kan vi da si at kanalet til fulltoppen energi til Na-22 må være høyere enn 411. Dermed eneste kanalen som vil oppfylle dette er 782.

Ved å se nærmere på figur 13 kan vi merke oss to spesifikke topper som har marker i figur ??

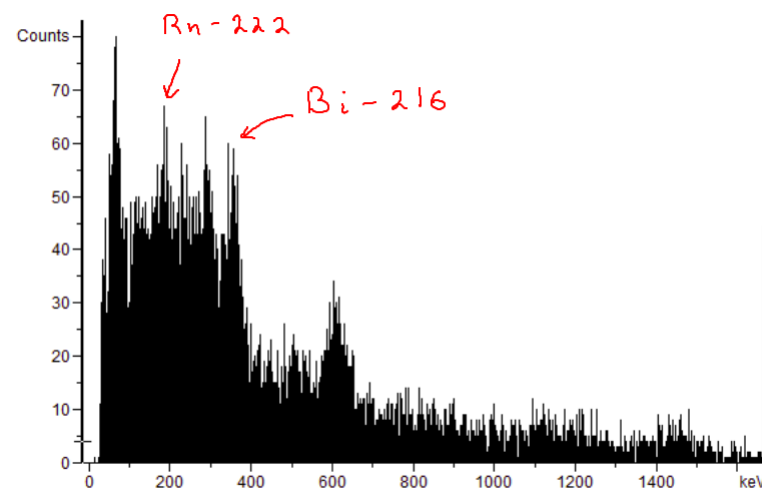


Figure 13. Caption

Ved bruk av programmet vårt kan observere at disse toppene representerer to mengder for energiene, den ene (toppen til venstre) er på 185keV, og den andre (toppen til høyre) er på 351keV. Ved å se på tabellen som er opgitt i appendix B kan vi se at disse energiene tilsvarer til Rn-222 og Bi-216 isotopene.

KONKLUSJON

I dette forsøket har vi funnet ut at pulsene som er målt av GM-telleren er sannsynlighetsfordelt, og at ved å utføre mange målinger kan vi bruke tilnærminger til å lage et Poissonsfordeling. I tillegg har vi funnet en måte å bestemme hvor tykk et ioniserende-strålings absorpsjons materialet må være for å absorbere et bestemt prosentdel av ioniserende stråling. Vi har også kalibrert et spektrometer ved å observere pulsene fra Cs-136 og Na-22. Vi har dermed brukt denne kalibreringen til å bestemme hvilke kilder det finnes på et ukjent gjenstand som sender ut ioniserende gammastråling. Denne ukjente gjenstanden var et klokke fra 1950-tallet. Vi har da funnet ut at denne klokke har blant annet isotopene Rn-222 og Bi-216.

Appendix A: 100 målinger for antall pulser i 1 sekund for første delen av forsøket

Appendix B: Oversikt over energiene til forskjellige kilder

```
1 k = [2 4 7 1 0 3 5 4 3 4 7 7 5 5 5 2 5 6 7 0 2 1 2 4 4 3 4 1 1 8 6 1 1 4 5 3 1 1 9 1 2 5 2 4 4  
4 5 6 1 7 4 3 6 2 3 2 4 2 7 2 2 3 4 2 5 1 4 0 2 4 5 4 1 3 6 0 5 3 5 3 3 4 3 1 4 5 1 5 4 2 2 2 3  
8 2 3 1 3 4 2 3 10]
```

Figure 14. Her har vi notert verdiene i et liste på matlab

Daughter	Energy (keV)	Relative Emission Intensity (%)	Absolute Emission Intensity (%)
Rn-222	186.211 (13)	7.815 (25)	3.555 (11)
Bi-214	53.2275 (21)	2.331 (16)	1.060 (9)
	241.997 (3)	15.997 (48)	7.268 (37)
	295.224 (2)	40.48 (8)	18.414 (36)
	351.932 (2)	78.26 (16)	35.60 (17)
	785.96 (9)	2.339 (28)	1.064 (13)
Po-214	609.312 (7)	100	45.49 (19)
	665.453 (22)	3.364 (15)	1.530 (7)
	768.356 (10)	10.755 (36)	4.892 (16)
	806.174 (18)	2.774 (13)	1.262 (6)
	934.061 (12)	6.814 (22)	3.100 (10)
	1120.287 (10)	32.77 (7)	14.91 (3)
	1155.19 (2)	3.594 (15)	1.635 (7)
	1238.111 (12)	12.819 (29)	5.831 (13)
	1280.96 (2)	3.155 (13)	1.435 (6)
	1377.669 (12)	8.722 (25)	3.968 (11)
	1401.50 (4)	2.923 (16)	1.330 (7)
	1407.98 (4)	5.252 (17)	2.389 (8)
	1509.228 (15)	4.679 (21)	2.128 (10)
	1661.28 (6)	2.304 (20)	1.048 (9)
	1729.595 (15)	6.251 (22)	2.844 (10)
	1764.494 (14)	33.66 (10)	15.31 (5)
	1847.420 (25)	4.451 (26)	2.025 (12)
	2118.55 (3)	2.545 (12)	1.158 (5)
	2204.21 (4)	10.80 (6)	4.913 (23)
	2447.86 (10)	3.403 (16)	1.548 (7)

Figure 15.