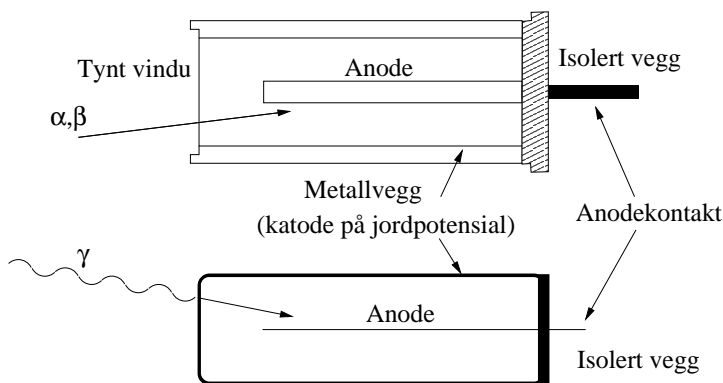


3. Ioniserende stråling

Innledning

I denne oppgaven skal du måle noen egenskaper ved ioniserende stråling ved hjelp av en Geiger-Müller (GM) detektor. Du skal studere strålingens statistiske natur, måle absorpsjon av γ -stråling (skjerming) i bly og måle GM-detektorens effektivitet. GM-detektorer er et forholdsvis enkelt apparat og er spesielt mye brukt i strålevern.

GM-detektorens oppbygning og virkemåte



Figur 1: Skjematisk snitt gjennom to GM-rør. Det øverste har et tynt endevindu der ladde partikler (α - og β partikler) kan trenge igjennom. Det nederste har bare tykke vegger, og brukes derfor utelukkende for måling av γ -stråling.

En GM-detektor består av et GM-rør tilkoblet en spenningskilde og en pulsteller. GM-detektorer er vanligvis laget slik at rør, spenningskilde og pulsteller (med “display”) er laget som en kompakt enhet. I vårt tilfelle er røret en enhet for seg, og alle elektroniske funksjoner er samlet i en “boks”.

Det finnes flere typer detektorer for måling av ioniserende stråling. Disse har forskjellige egenskaper, og har forskjellige formål. GM-røret er en enkel variant av typen ionisasjonskammer. Figur 1 viser et skjematisk snitt. Røret består av et sylinderformet ledende materiale med en lineær anode langs sylinderaksen. Anoden er ført inn i røret gjennom en elektrisk isolert endevegg, og har positiv spenning (gjerne noen hundre volt) i forhold til rørvæggen. Røret inneholder en gass med lavt trykk (ca. vel 100 Pa eller 0,1-1 atm).

En ioniserende partikkel som går gjennom gassen vil, når den kolliderer med gassmolekyler, produsere elektroner og positive ioner. Elektronene trekkes inn mot anoden, men støter stadig mot gassmo-

lekkyler. I GM-røret er feltet ved anoden så sterkt at hvert elektron utløser et skred av nye elektroner ved støtene. For hver enkelt ioniserende partikkel som er kommet inn i kammeret får vi derfor en kort ladningspuls som er stor nok til å kunne registreres elektronisk med en tilkoblet pulsteller. Pulsens størrelse er uavhengig av den opprinnelige strålepartikkels energi. En GM-detektor forteller oss derfor bare at det har kommet et ioniserende kvant, og ikke hva kvantets energi er. For måling av kvantenes energi bruker vi andre typer detektorer.

All stråling som lager ioner i gassen i røret vil bli registrert. α - og β -partikler må trenge inn i GM-røret med tilstrekkelig energi til å ionisere gassmolekyler. Siden α - og β -partikler har kort rekkevidde i materie, må GM-røret ha en tynn vegg (vindu). Samtidig må strålekilden plasseres tett inntil vinduet (hvorfor?). Alle ladde partikler som kommer inn blir registrert. GM-røret er altså meget følsomt for partikkelstråling.

γ -kvanter derimot har lang midlere fri veilengde i gassen, og vil lage langt færre ioner i gassen. For å bli registrert må et γ -kvant først slå løs et elektron, noen ganger også i rørvæggen, så nær den indre veggflaten at elektronet kommer inn i røret og ioniserer gassen. De fleste γ -kvanter går derfor gjennom røret uten å bli registrert. Sannsynligheten for at et γ -kvant som passerer gjennom telleren skal bli registrert (effektiviteten) er av størrelsesorden 1%.

I stedet for å registrere pulsene med en pulsteller kan vi la ladningspulsene lade opp en kondensator som hele tiden utlades igjen gjennom en stor motstand. Strømmen gjennom motstanden blir da proporsjonal med pulsraten (antall ladningspulser pr. sekund), vi sier at kondensatoren og motstanden virker som en differensiator. Et slikt instrument kalles et *ratemeter*. Instrumentet som benyttes i denne oppgaven kan opereres enten som pulsteller eller som ratemeter. Kommersiell GM-detektor har også ofte en liten høyttaler som gir et “knepp” for hver puls (og som gjerne brukes i audiovisuelle “skrekk- og advarsel” reportasjer om stråling).

Strålingens statistiske natur

Dersom vi teller antall pulser forårsaket av ioniserende stråling i et fast tidsintervall og gjentar målingen flere ganger, finner vi at antallet varierer. Dette skyldes den grunnleggende statistiske natur ved radioaktivitet. Sannsynligheten $P(n)$ for å observere n pulser i tidsintervallet, der middelveiden (“gjennomsnittet”) av n etter N målinger er m , er gitt ved

formelen:

$$P(n) = \frac{e^{-m} m^n}{n!}.$$

Fordelingen kalles Poissonfordelingen, og er her en (god) tilnærming til den korrekte; binomialfordelingen.

Oppgave 1. Absorpsjon av γ -stråler i bly

Det er alltid γ -stråling i våre omgivelser. Inne kommer strålingen hovedsakelig fra vegger og tak, men også noe fra kosmisk stråling. Dette kaller vi "bakgrunnstråling".

Dersom vi ikke kan skjerme vår apparatur for bakgrunnstrålingen må vi korrigere for den. I denne oppgaven skal du starte med å måle bakgrunnstrålingen. Apparatoppstillingen skal være så lik selve måleoppstillingen som mulig. Selve γ -kilden som benyttes er plassert inne i et blykammer. Start forsøket med blykammeret lukket og med alle blyplatene plassert mellom blykammeret og GM-røret. Spenningen på røret skal være ca. 600 V. Den stråling du nå måler er bakgrunnstrålingen. Mål den i 10 minutter.

I selve forsøket måler du strålingen fra kilden med blykammeret åpent. Se figur 2. Avstanden mellom GM-røret og kilden må ikke forandres, og det må være plass til alle blyplatene mellom dem. Mål telleraten med forskjellig antall blyplater, først uten, så med 1, deretter med 2 etc.. Mål talletiden for 1000 tellinger.



Figur 2: Blykammer til venstre, med blyplater foran GM-røret. GM-røret er skjult inne i kammeret lengst til høyre på bildet.

Telleraten n fratrukket bakgrunnstrålingens tellerate n_b tegnes på millimeterpapir med $\ln n' =$

$\ln(n - n_b)$ langs y -aksen og tykkelsen av blyplatene langs x -aksen. Gjør en grafisk utjevning av målepunktene til en rett linje. Bestem svekkingskoeffisienten μ i uttrykket

$$n' = n - n_b = n_0 e^{-\mu z},$$

der z er lik tykkelsen av antall blyplater (dvs. antall plater ganger tykkelsen av en plate) og n_b er bakgrunnstelleraten. Beregn den verdien av z som gir $n' = n_0/10$.

Oppgave 2. Statistisk spredning av pulser fra en GM-teller

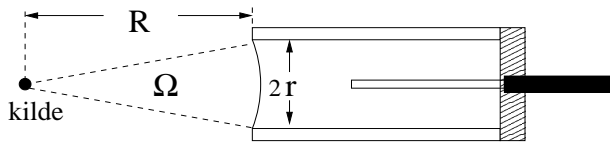
Benytt GM-røret med tynt endevindu, oppstilt som i figur 3. Innstill spenningen mellom sentralelektroden og rørveggen på 600 V. Mål antall tellinger n i ett sekund 100 ganger (dvs. $N = 100$). Fremstill måleresultatene grafisk i et histogram og beregn det midlere antall tellinger (m) i ett sekund. Sammenlikn den målte fordelingen med Poissonfordelingen i den samme grafen.



Figur 3: GM-rør med tynt endevindu (nedre ende) montert over en γ -kilde. Denne oppstillingen benyttes i oppgavene 2 (uten kilde) og 3 (med kilde).

Oppgave 3. GM-rørets effektivitet

Benytt et GM-rør med endevindu, Plasser en ^{137}Cs -kilde med kjent aktivitet A i avstanden $R = 120$ mm fra rørets vindu, se figur 3. Sett fra kilden utspenner GM-røret en romvinkel Ω som er tilnærmet lik $\pi(r/R)^2$, der r er vinduets radius, se figur 4.



$$\Omega = a / R^2 = \pi r^2 / R^2$$

Figur 4: Illustrasjon av romvinkel Ω . Romvinkel er definert som arealet av det utspente kulesegmentet (her tilnærmet lik arealet a) dividert på kulens radius kvadrert.

Vi benytter likningen

$$\frac{A\epsilon\Omega}{4\pi} = n - n_b,$$

der ϵ er rørets effektivitet, n er telleraten med kilden på plass (minst 1000 tellinger) og n_b er bakgrunnstelleraten, der du kan bruke resultatene fra oppgave 2.

- 1) Bestem rørets effektivitet ϵ .
- 2) Hva betyr "rørets effektivitet" ?
- 3) Hva hadde telleraten vært dersom ϵ hadde vært 1,00 ?

Gi et overslag over hvor mange radioaktive kjerner kilden inneholder. Halveringstiden for ^{137}Cs er 30,07 år.

Oppgave 4. Vurdering av stråledose

Mål doseraten i et punkt som ligger 0,5 m fra en ^{137}Cs -kilde med en aktivitet på (ca.) 2 MBq (vi bruker egentlig to kilder som til sammen gir denne aktiviteten). Gi et overslag over den stråledose du ville motta hvis du befant deg i dette punktet i 1 time. Sammenlign denne dosen med ICRPs anbefalte grenser for årtdose.