

Absorption af γ -stråler i vand og α -strålers flyvelængde i et tågekammer

Aarhus Universitet - Institut for Fysik og Astronomi (IFA)

12. november 2018

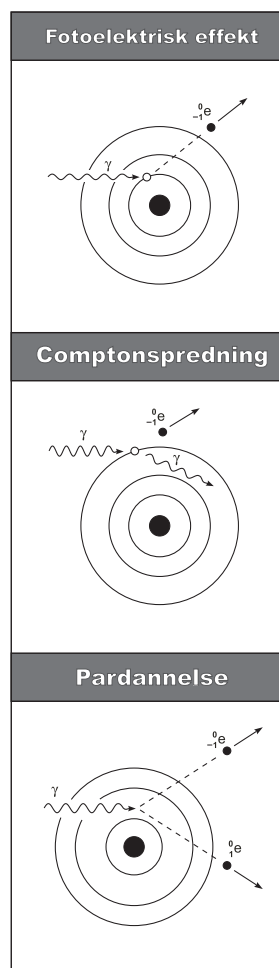
I hverdagen støder vi på 3 forskellige typer stråling, α -, β - og γ -stråling. Typen α -stråling er udsendelse af heliumkerner, β -stråling er udsendelse af positroner eller elektroner og γ -stråling er udsendelse af fotoner med høj energi. Udsendte α -kerner stoppes nemt af en smule luft, β -stråling stoppes som oftest nemt af nogle millimeter plastik, mens γ -stråling er sværere at stoppe og man skal generelt bruge en blyklods eller lignende for at stoppe γ -stråler helt. Typen- γ stråler er fotoner/lys, og kan opfattes både som partikler og bølger. I den første øvelse vil vi primært beskæftige os med partikelbeskrivelsen af lys.

Når lys bevæger sig gennem stof, kan lyset vekselvirke med stoffet på tre måder[1] hhv. *fotoelektrisk effekt*, *Compton spredning* og *pardannelse*, se figur 1. De to førstnævnte processer er eksempler på foton-atom vekselvirkninger.

I fotoelektrisk effekt, først beskrevet af A. Einstein, bliver en foton absorberet af atomet, hvorefter en såkaldt *fotoelektron* bliver udsendt.

Compton spredning er processen, hvor en foton rammer en yderlig elektron i atomet og spreder på denne elektron. Dette resulterer i, at fotonen afgiver en del af sin energi til elektronen, og derved bliver fotonen mindre energirig (dvs. får større bølgelængde), og ændrer sin retning. Elektronen optager energien mistet fra fotonen og kan blive løsrevet fra atomet.

I den sidste proces, pardannelse, kan en foton med en energi højere end 1.022 MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$) blive omdannet til en elektron og en positron. Dette par vil videre interagere med materialet og afsætte energi under dets bevægelse. Grunden til tærskelværdien på 1.022 MeV er, at massen for en elektron og en positron begge er $511 \text{ keV}/c^2$ og de



Figur 1: Tre måder lys kan interagere med stof

bliver dannet i overensstemmelse med Einsteins berømte ligning $E = mc^2$, hvor E er foton-energien, m er massen og c er lysets hastighed.

Disse tre processer kan hindre lyset i at bevæge sig hele vejen gennem materialet, og giver derfor en dæmpning af lysets slutintensitet. Lysets slutintensitet, $I(x)$, som funktion af materialets tykkelse, x , beskrives ved

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}, \quad (1)$$

hvor I_0 er startintensiteten, og μ kaldes dæmpning koefficienten. μ har enheden $1/\text{længde}$, og den fysiske forståelse er, at hvis tykkelsen er $x = 1/\mu$ vil lysets intensitet falde med en faktor $1/e$, hvor $e \simeq 2.71828\dots$ er Eulers konstant, dvs. der er tale om en eksponentiel dæmpning. Faktoren μ relaterer sig til halveringstykkelsen ved

$$x_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\mu}. \quad (2)$$

Efter denne tykkelse vil halvdelen af fotonerne være absorberet.

Hvis stråling bliver absorberet i menneskevæv, afsættes energi i vævet som kan ødelægge og/eller skade det. Dette kan have langvarige konsekvenser som kræft eller genfejl. Fra omgivelserne udsættes mennesket dagligt for stråling. Denne stråling kan for det meste ikke undgås, og betegnes som *baggrundsstråling* beskrevet i note [1].

Baggrundsstrålingen kommer primært fra seks kategorier. Kategoriseret fra størst bidrag til lavest:

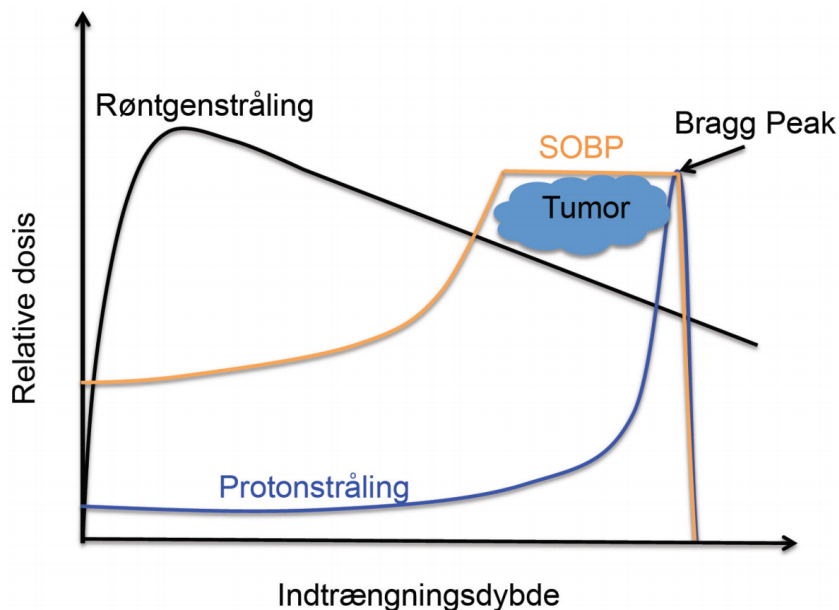
- Radon fra den atmosfæriske luft bidrager til baggrundsstrålingen. Radon er α -radioaktiv. Strålingen fra Radon er dog 10 gange højere indendørs end udendørs.
- Anvendelsen af stråling inden for lægeverdenen. Det er primært røntgenstråling, der bidrager til strålingen. Det kan f.eks. være til en røntgen-undersøgelse af lungerne, eller det såkaldte CT-scan.
- Fødevarer bidrager primært til strålingen grundet et indhold af den radioaktive isotop K-40, som henfalder ved udsendelse af β -stråling eller γ -strålingen i røntgen/gamma-regimet. Mennesker indeholder også selv K-40 og er derfor svagt radioaktive.
- Gammastrålingen fra undergrunden, byggematerialer osv.. Denne betegnes som den *terrestriske stråling*.
- Den *kosmiske stråling* er stråling fra det ydre rum, især fra Solen.
- Den sidste kategori kan kaldes *andet* og betegner bl.a. menneskeskabt stråling som fra f.eks. atomsprængninger og atomaffald. Dette udgør dog kun en lille procentdel af den samlede baggrundsstråling.

Denne baggrundsstråling er ikke noget vi skal være bange for: Alle generationer af mennesker igennem tiden har levet i denne stråling, så det er altså hverdag for kroppen at få en lille smule stråling.

Medicinsk fysik

Stråling er ikke kun farlig for mennesker. Hvis man bruger den klogt, kan stråling bruges til at ødelægge væv, som kunne udgøre en fare for mennesker. Dette kunne være en kræft-tumor[2]. Bestråles en tumor med γ -stråling vil man ødelægge, og – i bedste fald – neutralisere tumoren helt. Problemet med denne process er, at alt det raske væv som strålingen skal gennem for at nå tumoren også bliver beskadiget, se figur 2. Dog er dette en konsekvens man bliver nødt til at tage med hvis tumoren skal fjernes og ikke kan fjernes ad kirurgisk vej eller med kemoterapi.

En anden måde at bruge stråling til kræftbehandling er ved at bruge protonstråling[2]. Ladede partikler afsætter næsten al deres energi lige før de stopper. Denne energiafsætning er vist i figur 2 og kaldes for Bragg-peak, opkaldt efter opdageren William Bragg. Hvis man vil ramme et større område benytter man sig af stråling sammensat af forskellige proton energier kaldet en *Spread Out Bragg Peak (SOBP)*. Den dybde hvor en proton afsætter hovedparten af sin energi, afhænger nemlig af dens start-energi og man kan derfor præcist ramme en tumor inde i kroppen stort set uden at skade det omkringliggende væv.



Figur 2: Eksempler på stråledosen forskellige typer stråling giver som funktion af indtrængningsdybden. Den sorte kurve viser stråledosen fra røntgenstråling, den blå kurve viser stråledosen fra protonstråling ved en bestemt energi, og den gule viser stråledosen for en sammensætning af protonstråling ved forskellige energier.

Taget fra <http://kvant.dk/upload/kv-2017-2/kv-2017-2-UIU-Bragg.pdf>

Undervisningsforløb

Undervisningsforløbet vil tage udgangspunkt i to eksperimenter, som er underbygget af ovenstående teori. Absorption af γ -stråling i vand og flyvelængden af α -stråler i et tågekammer. Begge eksperimenter er simple, men demonstrerer elegant fordelene og problematikkerne ved de forskellige strålingstyper til behandling af kræfttumorer.

Tidsplanen for dagen bliver som følgende, med mulighed for ændring af starttidspunkt:

- 10.00 – 10.30 Introduktion til dagens øvelser, herunder en gennemgang af udstyr til brug for øvelserne og de relevante fysiske effekter.
- 10.30 – 12.00 Eleverne deles op i to hold som laver hver deres eksperiment. Vi har kapacitet til 3 grupper på hvert hold.
- 12.00 – 12.30 Frokost.
- 12.30 – 14.00 Grupperne fra før frokost bytter eksperiment.
- 14.00 – 14.40 10 minutters pause hvorefter de studerende fortæller om studielivet og deres bachelor og specialeprojekter.
- 14.40 – 15:00 Rundvisning ved diverse eksperimenter på instituttet.

Forberedelse

Vi forventer at eleverne har gennemgået øvelsesvejledningerne hjemmefra og har dannet sig et overblik over eksperimenternes relevans og sammenhæng. Eleverne skal medbringe PC med CAS-værktøj til regression. Eleverne skal have adgang til artiklerne og referencerne i øvelsesvejledningen, enten digitalt eller udskrevet.

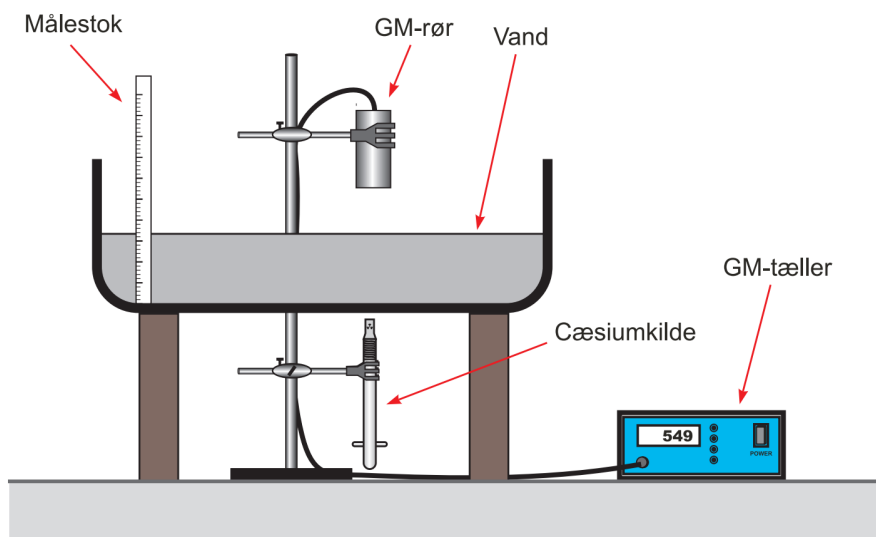
1 Absorption i Vand

1.1 Formål - Absorption i vand

Formålet med øvelsen er at undersøge, hvordan γ -stråler bliver absorberet i forskellige materialer. Vi vil i øvelsen benytte vand som absorptionsmateriale. Mennesker består af cirka 60% vand hvilket gør det til et interessant materiale at undersøge. Vi vil finde dæmpningskoefficienten og halveringstykkelsen af vand ved at måle antallet af γ -stråler som gennemtrænger forskellige tykkelser af vandsøjler. Hvis der er tid tilovers, vil man også kunne bruge andre materialer som f.eks. aluminium og papir.

1.2 Forsøgsopstilling - Absorption i vand

I figur 3 ses en illustration af forsøgsopstillingen til eksperimentet med γ -strålers absorption i vand.



Figur 3: Forsøgsopstilling
 Taget fra http://www.matematikfysik.dk/fys/noter_tillaeg/note_kernekfysik.pdf

Til forsøget skal følgende udstyr bruges:

- Cs-137 kilde
- Geiger-Müller-rør (GM-rør) + GM-tæller
- Vand
- Målestok
- 1 stk tynd aluminiumsplade
- 1 stk stort målebæger
- 1 stk lille målebæger
- 2 stk stativ
- 4 stk stativ klemmer
- 4 stk klemmeholdere til stativ

De to stativer sættes overfor hinanden, og to stativklemmer sættes fast på hvert stativ ved hjælp af klemmeholderne. Klemmerne fra hvert stativ peges imod hinanden og en aluminiumsplade sættes op imellem klemmerne, så den hænger vandret. Klemmerne skal sidde langt nok ude på kanten af aluminiumspladen, til at det store målebæger kan placeres midt på pladen. GM-røret sættes fast med en klemme over målebægeret, og kilden sættes fast med den sidste klemme under aluminiumspladen. GM-røret og kilden skal pege imod hinanden og så tæt på hinanden som muligt for størst tællerate.

GM-røret sættes i GM-tælleren og tællertiden på GM-tælleren sættes til f.eks. 300s. Det lille målebæger bruges til at fylde vand i det store målebæger.

1.3 Forsøgsudførelse - Absorption i vand

Forsøget startes ved at måle baggrundsstrålingen omkring os. Fjern Cs-137 kilden og start en måling på 300s. Tællertallet skrives ned og Cs-137 kilden kan igen monteres.

Nu foretages en måleserie, hvor mængden af vand imellem kilden og detektoren ændres fra måling til måling. Vælg et passende antal vanddybder og mål antallet af gammastråler som GM-røret detekterer på 300s ved hver dybde. Her skal dybderne noteres sammen med tællertallet. Antallet af tællinger skulle gerne falde jo mere vand der er imellem kilden og GM-røret. Det er vigtigt at alle andre parametre i opstillingen holdes konstante mens vandsøjlen varieres – undgå derfor f.eks. at fjerne GM-røret undervejs.

Imens målingerne foregår, skal det eftervises at halveringslængden er givet som $x_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\mu}$, (hint: i skal benytte ligning (1)).

Hvis man hurtigt når at eftervise ligning (2), kan man prøve at eftervise ligning (1). Man må gerne spørge instruktoren efter hints hvis ikke man kan komme i gang.

1.4 Databehandling - Absorption i vand

Inden vi kan bruge vores data til at finde dæmpningskoefficienten og halveringslængden, skal vi tage højde for baggrundsstrålingen omkring os. Alle målinger, som er taget med kilden, indeholder tællinger fra den radioaktive kilde og fra baggrundsstrålingen, og vi skal derfor fjerne baggrundstællingerne. Fra vores baggrundsmåling ved vi, hvor mange tællinger baggrunden giver på 300 s. Vi kan derfor trække tællingerne fundet i baggrundsmålingen fra tællinger fundet med kilden. Dette betyder, at de tællinger vi har tilbage, kun tilhører tællinger fra kilden. Herefter plottes datapunkterne fra eksperimentet i en graf, hvorefter en regression til datapunkterne laves ud fra ligning (1). Datapunkterne skal plottes således, at x -værdien er vanddybden og y -værdien er antal tællinger. Regressionskurven plottes sammen med datapunkterne.

Efter regressionen er udført kan μ aflæses og $x_{1/2}$ kan regnes ud fra formel (2). Find en troværdig kilde, som giver disse længder og sammenlign med jeres resultater.

2 Flyvelængde af α -partikler

2.1 Formål - Flyvelængde af α -partikler

Formålet med at studere flyvelængden af α -partikler ved forskellige energier er, at få et indblik i sammenhængen mellem energien og hvor langt en α -partikel når at bevæge sig, før den bliver stoppet. Dette eksperiment er interessant, da energien, partiklen afsætter i materialet, bliver afsat primært, når partiklen stopper. Længden partiklen flyver afhænger af hvilken energi den har, hvilket vil sige at partikler med samme energi, udsendt fra samme sted, afsætter sin energi det samme sted. Dette kan man bruge i f.eks. strålingsterapi med protoner, hvor protonerne kun afsætter deres energi i den tumor, man ønsker at ramme og kun meget lidt i det omkringliggende væv[2]. På denne måde kan man meget

nøjagtigt ramme en tumor inde i kroppen uden at beskadige resten af vævet, hvilket man ellers ville gøre ved brug af γ -stråling.

2.2 Forsøgsopstilling - Flyvelængde af α -partikler

Til forsøget skal følgende udstyr bruges:

- En svag α -kilde med forskellige energier
- Tågekammer
- Isopropanol
- Kamera (som f.eks. i en smart-phone)
- Lineal
- PC el. lign. med videoredigeringsprogram installeret

2.3 Forsøgsudførelse - Flyvelængde af α -partikler

Øvelsen skal foregå i et mørkt lokale, så partikelbanerne nemmere kan ses. Tågekammeret tilføres et par dråber isopropanol, α -kilden places inde i kammeret som lukkes, hvorefter kølingselementet og lyset i tågekammeret tændes. Efter lidt tid vil små kondens-spor i bunden af kammeret dannes. Isopropanolen kondenserer omkring partiklen, som bevæger sig, og man ser altså et spor af kondens, hvor partiklen har bevæget sig. Når sporene er tydelige nok, efter cirka 10 minutters køling, skal en film optages af sporene i kammeret. Filmen skal gerne fange gode tydelige spor og gerne af forskellig længde. Linealen lægges tæt ved kammeret så den er tydelig på videoen. Dette skal bruges til at vurdere længden af sporene i videoredigeringsprogrammet.

2.4 Databehandling - Flyvelængde af α -partikler

Filmen fra kameraet læses ind i et videoredigeringsprogram og længderne af de individuelle partikel-spor estimeres ved hjælp af linealen, som kan ses på billedet.

Kommenter på hvordan længderne er fordelt, hvorfor er de fordelt sådan? Kig artiklen[2] igennem og find sammenhængen imellem flyvelængden og energien. Prøv så at finde energien af α -partiklerne ud fra formelen i artiklen.

Litteratur

- [1] Erik Vestergaard, 2016, "Kernekernefysik", http://www.matematikfysik.dk/fys/noter_tillaeg/note_kernekernefysik.pdf.
- [2] Pernille Bræmer-Jensen og Ulrik I. Uggerhøj, Juni 2017, "Protonterapiens fysik – en kort udledning af Braggkurven og dens top", <http://kvant.dk/upload/kv-2017-2/kv-2017-2-UIU-Bragg.pdf>.