

RADIOAKTIVITET OCH STRÅLNING

1 Inledning

1.1 Radioaktivt sönderfall och strålning

Atomens kärna består av positivt laddade positroner och neutrala neutroner. Ett grundämne har alltid ett konstant antal protoner medan antalet neutron och samtidigt atomens massa kan variera från atom till atom. Atomer av samma grundämne med nuklider av olika massor kallas *isotoper*.

Alla isotoper är inte *stabila*, utan största delen av de kända isotoperna är *instabila*. De ostabila, d.v.s. de *radioaktiva* kärnorna, avger vid sönderfall joniserande strålning som antingen kan vara partikelstrålning, som alfa- eller betastrålning (α , β^- , β^+), eller elektromagnetisk gammastrålning (γ).

Vid alfasönderfall emitterar kärnan en *alfapartikel* (som motsvarar en ${}^4_2\text{He}$ -kärna) som består av två protoner och två neutroner. Vid betasönderfall sönderfaller, p.g.a. den svaga växelverkan, en kärnneutron antingen till en proton (β^- -sönderfall) varvid kärnan emitterar en elektron e^- och en antineutrino $\bar{\nu}$ eller så blir en kärnproton till en neutron (β^+ -sönderfall) varvid kärnan emitterar en positron e^+ och en neutrino ν . Vid radioaktivt sönderfall kan *dotternukliden* förbli i exciterat tillstånd, kärnan återgår då till grundtillståndet genom att emittera en γ -kvant. På likande sätt som för elektronerna är energin för atomens kärna även kvantiserad, energin för den emitterade fotonen (γ -kvanten) motsvarar alltså skillnaden mellan kärnans energinivåer. I detta arbete bekantar vi oss med gammastrålningens egenskaper och hur denna typ av strålning kan detekteras.

1.2 Sönderfallslagen, halveringstid och aktivitet

Sönderfallet av en radioaktiv nuklid är en slumpmässig händelse, tidpunkten för en enskild nuklids sönderfall går således inte att förutse. Då en stor mängd nuklider betraktas går det dock att bestämma antalet nuklider som i medeltal kommer att sönderfalla under ett bestämt tidsintervall.

Antalet nuklider som sönderfaller ΔN är proportionellt mot antalet radioaktiva nuklider N och sönderfallskonstanten λ som beskriver sannoliketen att den radioaktiva nukliden sönderfaller inom tidsenheten Δt . Konstanten λ är karakteristisk för isotopen och oberoende av tiden. Av dessa villkor kan en ekvation som beskriver antalet nuklider som funktion av tiden härledas:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}. \quad (1)$$

I ekvationen är N_0 antalet nuklider vid tidpunkt $t = 0$. Ekvation (1) kallas för sönderfallslagen.

Med *halveringstid* $T_{\frac{1}{2}}$ avses den tid inom vilken antalet radioaktiva nuklider av en isotop i en källa har halverats. Från ekvation (1) kan ett samband mellan halveringstiden och sönderfallskonstanten härledas

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (2)$$

Källans *aktivitet* R bestäms som antalet sönderfall per tidsenhet

$$R(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N(t). \quad (3)$$

Sönderfallslagen kan även skrivas för aktiviteten genom att tillämpa ekvation (3). Sönderfallslagen fås då i formen

$$R(t) = R_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}. \quad (4)$$

Aktivitetens SI-enhet är 1/s, som benämns *Becquerel (Bq)*. En gammal enhet för aktivitet är Curie (Ci), 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.

1.3 Detektion av gammastrålning

En detektor är en apparat som producerar en spänningspuls då en strålningspartikel detekteras. *Pulsfrekvensen* definieras som antalet pulser per tidsenhet. Genom att koppla en pulsräknare till detektorn kan pulsmängden, d.v.s. antalet pulser som detekterats under mättiden, beräknas. Alla partiklar som träffar detektorn detekteras dock inte, detektionssannolikheten för detektorn kallas *effektivitet* ε . Antalet radioaktiva sönderfall under en mättid följer så kallade Poissonfördelningen. Felet för den mätta pulsmängden n kan därför bestämmas som kvadratroten för pulsmängden $\Delta n = \sqrt{n}$.

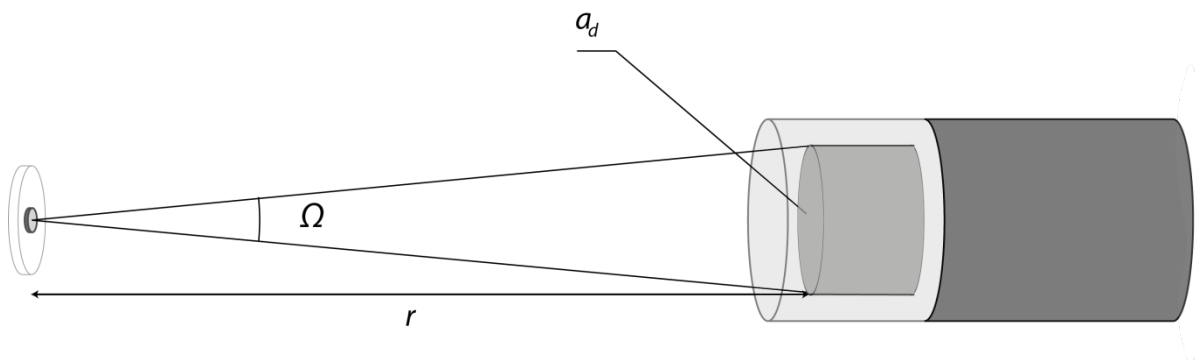
En radioaktiv källas aktivitet R kan bestämmas genom att mäta den av källan emitterade gammastrålningens pulsfrekvens $\frac{dn}{dt}$. Antag att källans storlek i förhållande till dess avstånd är så litet att källan kan anses vara punktformad (figur 1). Antag vidare att detektorn är så liten att den kan beskrivas som ett plan. Genom att dessutom ta i beaktande att sannolikheten för att gammastrålningen växelverkar med luften är så liten att en obetydligt liten del av strålningen absorberas fören den träffar detektorn, fås för pulsfrekvensen som detektorn detekterar

$$\frac{dn}{dt} = \varepsilon R n_i \frac{\Omega}{4\pi}, \quad (5)$$

där n_i är antalet gammakvanta som emitteras vid ett sönderfall och Ω den rymdvinkel i vilken källan ser detektorn. Om detektorns area är a_d kan ekvation (5) skrivas som

$$\frac{dn}{dt} = \varepsilon R n_i \frac{a_d}{4\pi r^2}, \quad (6)$$

där r är avståndet från källan till detektorn. Från ekvationen kan ses att den uppmätta pulsfrekvensen är omvänt proportionellt mot avståndets kvadrat.



Figur 1. Principfigur över detektorn och strålningskällan.

1.4 Dämpning av gammastrålning i ett medium

Gammafotonens absorptionssannolikhet i ett medium ökar som funktion av ordningstalet hos mediet och minskar som funktion av fotonens energi. Gammastrålningens intensitet (d.v.s. ackumuleringen av fotoner $1/(s \cdot m^2)$) φ dämpas exponentiellt, som funktion av sträckan x som strålningen färdas i ett medium

$$\varphi(x) = \varphi_0 e^{-\mu x}, \quad (7)$$

där φ_0 är fotonens intensitet innan den träffat mediet och dämpningskoefficienten μ (som är beroende av mediet och fotonens energi) beskriver absorptionssannolikheten per längdenhet. Detektorns uppmätta pulsfrekvensen är direkt proportionellt mot strålningens intensitet eftersom

$$\frac{dn}{dt} = \varepsilon \varphi a_d. \quad (8)$$

I laboratoriearbetet används som dämpande medium bly och gammastrålningens pulsmängd mäts som funktion av blyets tjocklek. Från mätresultaten bestäms hur tjockt lager bly som behövs för att strålningens intensitet skall sjunka till en viss procent av den ursprungliga. Samtidigt visas att strålningens intensitet dämpas exponentiellt i ett medium.

1.5 Doshastigheten orsakad av gammastrålning

Då strålning träffar ett medium, som t.ex. vävnad, joniserar strålningen mediets atomer och molekyler. Jonerna som föds ger i sin tur sin energi vidare åt mediet. Effekten av strålning på mediet beror i stor mån på mängden energi som överförs till mediet.

Den absorberade dosen D definieras som kvoten av strålningsenergin E som absorberats av en volymenhet och volymenhetens massa m

$$D = \frac{E}{m}. \quad (9)$$

Den absorberade dosens SI-enhet är J/kg och den kallas för *Gray* (Gy). Enheten kan användas för alla typer av strålning i alla medier. Doshastigheten definieras som den absorberade dosen per tidsenhet alltså $\frac{dD}{dt}$.

Vad gäller strålskydd är *ekvivalentdos* en mera väsentlig storhet eftersom den tar i beaktan hur olika typer av strålning orsakar biologisk skadeverkan. Ekvivalentdosen H bestäms som produkten av koefficienten w_R som beskriver hur farliga olika strålningars är och av den absorberade dosen

$$H = D w_R, \quad (10)$$

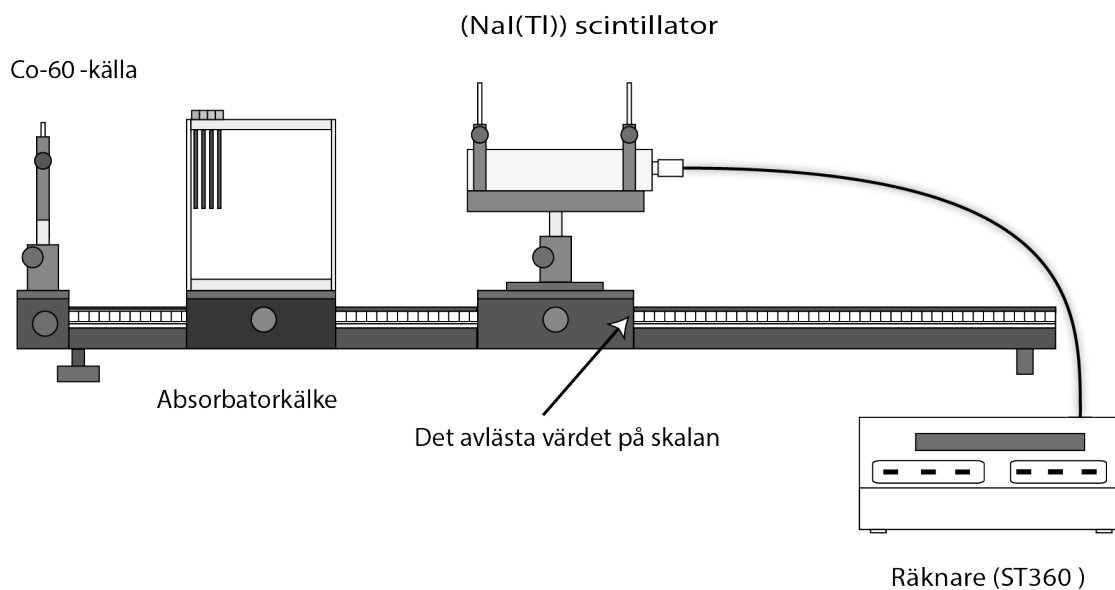
där koefficienten w_R är 1 för gammastrålning, men t.ex. 20 för alfastrålning. Enheten för ekvivalentdos kallas för *Sievert* (Sv). Ekvivalentdoshastigheten definieras på motsvarande sätt som ekvivalentdosen per tidsenhet, alltså $\frac{dH}{dt}$.

2 Målsättningar

Efter att ha utfört arbetet

- har studerande experimentellt studerat hur gammastrålning dämpas i ett medium
- kan studerande förklara hur man kan skydda sig från gammastrålning
- förstår studerande vad som menas med en radioaktiv källas aktivitet

3 Apparatur



Figur 2. Apparaturen som används i laboriearbetet.

I laboriearbetet används apparaturen som består av en strålningskälla, en scintillator, en pulsräknare, en absorbatorkälke och skenor på vilka provet och detektorn är fästa. Som strålningskälla används en Co-60-gammakälla. Co-60 är en instabil isotop av kobolt som sönderfaller genom β^- -sönderfall till Ni-60. Efter sönderfallet är nukliden i exciterat tillstånd, genom att skicka ut två gammakvanta med energier 1173 keV och 1332 keV återgår den till grundtillståndet. Co-60 isotopens halveringstid är 5,27 år.

Gammastrålningens intensitet mäts med en scintillator (SPECTECH SDA-38) som består av en scintillationskristall av NaI(Tl), talliumberikad natriumjodid och av ett fotomultiplikatorrör. Scintillatoren är kopplad till en pulsräknare (ST360) som räknar gammafotonerna detekterade av scintillatoren. Detektorn *area* är 11,4 cm². Scintillatorns funktionsprincip baserar sig på växelverkan mellan strålningen och scintillatoren på så sätt att scintillatorns atomer exciteras och fotoner emitteras inom området för synligt ljus eller UV-strålning. De fotoner som bildas i scintillatoren styrs mot fotomultiplikatorn som omvandlar ljuset till en detekterbar strömpuls. Strömpulsen kan ledas till en analysator eller en pulsräknare som i detta arbete. En detekterad gammakvant svarar mot en strömpuls vars storlek är proportionell mot den observerade gammakvantens energi.

Under arbetets gång är källan fäst på ändan av skenan. Detektorn kan förflyttas längs med skenan då skruven på detektorkälken är lös. Efter att detektorns position har ändrats bör skruven dock spännas.

Förutom scintillatorn används även en *dosimeter* (Rados RDS-31) i arbetet. Dosimeterns funktionsprincip baserar sig på ett energikompenserat Geiger-Müller-rör som mäter strålningens ekvivalentdos och doshastighet inom energiområdet 48keV – 3MeV. Storheten som apparaten mäter är den så kallade fria dosekvivalenten som kan tänkas motsvara gammastrålningens ekvivalentdos/-doshastighet. Dosimeterns bruksanvisning finns på arbetsbordet.

Information om apparaturen :

- *Källans aktivitet och apparaturens effektivitet: värden på dessa finns uppskrivet vid mätapparaturen.*
- *De emitterade γ -kvantens energier 1173 keV och 1332 keV (varvid $n_i = 2$)*
- *^{60}Co -isotopens halveringstid 5,27 år.*
- *Detektorns area är 11,4 cm².*
- *Reduceringen som bör göras från det avlästa värdet på detektorskenan är 15,7 cm.*

4 Förhandsuppgifter

Bekanta dig med teorin som hör till arbetet i valfri fysiklärobok, t.ex. [1-3], läs igenom arbetsinstruktionen och besvara frågorna nedan på svarsblanketten.

1. Vilka är de olika slagen av radioaktivt sönderfall? Hurudan strålning bildas vid de olika typerna av radioaktivt sönderfall?
2. Vad avses med källans aktivitet? Vad är aktivitetens enhet?
3. Vad beskrivs med effektiv dos? Vad är dess enhet?
4. Hur stor stråldos får som en människa i medeltal per år? Vilken är storleksordningen på doshastigheten som orsakas av naturens bakgrundsstrålning?
5. Hur lönar det sig att välja mätpunkterna r så att anpassandet av en rak linje i ett $(1/r^2, \frac{dn}{dt})$ -koordinatsystemet är så lätt som möjligt? Mätområdet är 5-40 cm.
6. I arbetet bestäms och ritas upp pulsfrekvensen dn/dt som funktion av inversen av avståndet i kvadrat $1/r^2$. Till de mätta punkterna anpassas en linje ($y = kx + b$). Vad är denna linjes riktningskoefficient enligt ekvation (6)? Skriv en ekvation för k och härled från ekvationen källans aktivitet R .

5 Mätningar

Anteckna resultaten på svarsblanketten. Bifoga grafer samt eventuella uträkningar gjorda på skilda papper till svarsblanketten.

5.1 Avståndets inverkan på gammastrålningens intensitet

1. Försäkra dig om att detektorn är kopplad till pulsräknarens SCINT-utag och slå på pulsräknarens ström.
2. Ställ detektorns högspänning på 700 V (HIGH VOLTAGE) och ställ pulsräknarens mättid på 10 s. (Med pulsräknarens DISPLAY SELECT-knappar kan du röra dig i apparatens meny. Signalljuset i det övre högra hörnet meddelar vilket värde som just då syns på displayen. Med UP- och DOWN-knapparna kan dessa värden ändras vid lägen TIME, HIGH VOLTAGE och ALARM POINT. Räknaren meddelar tiden i sekunder. Räknaren startas från COUNT knappen och slutar automatiskt då tiden tar slut.)

3. Mät strålningens intensitet vid tio punkter så att mätpunkterna ligger jämnt på $1/r^2$ -skalan. (Detektorns avstånd avläses från skenorna enligt figur 2. Från det avlästa värdet på detektorns skenor måste 15,7 cm subtraheras så att avståndet motsvarar sträckan r mellan detektorn och källan.) Ett lämpligt mätområde för avståndet r är 5–40 cm.
4. Skriv upp den angivna aktiviteten för den Co-60 källa du använt och datumet då aktiviteten är uppmätt samt den använda apparaturens effektivitet.

5.2 Dämpningen av gammastrålning i ett medium

1. Placera absorbatorkälken på skenorna så nära källan som möjligt.
2. Ställ in mätningstiden på 100 s och flytta detektorn så nära absorbatorkälken som möjligt utan att den vidrör kälken.
3. **Gör en hypotes och skriv ner den på svarsblanketten:** Hur betar sig den uppmätta pulsmängden n som funktion av blylagrets totala tjocklek x , då man lägger till blyskivor på absorbatorkälken? Motivera ditt svar fysikaliskt.
4. På arbetsplatsen finns absorptionsskivor gjorda av bly. Den tunnaste skivans tjocklek är 2 mm och den tjockaste 4 mm. Mät pulsmängden vid följande tjocklekar på blybarriären som placerats på kälken: 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 28, 36 och 50 mm. *Använd handskarna som finns på bordet då du handskas med blyskivorna.* Tvätta händerna efter att du är klar med blyskivorna. Placera blyskivorna på ställningen så att de är så nära detektorn som möjligt.
5. **Testa hypotesen:** Skissera den uppmätta pulsmängden som funktion av blylagrets tjocklek på svarsblanketten. Motsvarar resultatet hypotesen? Om ej, fundera varför.
6. Mät till sist bakgrundsstrålningens pulsmängd vid apparaturen. Denna mätning utförs genom att ta bort blyskivorna från absorbatorkälken och placera två blytegel på absorbatorkälken. Blyteglan placeras efter varandra i upprätt ställning så nära detektorn som möjligt. Blyteglan kan antas dämpa gammastrålning som källan skickas ut fullständigt.

5.3 Doshastigheten orsakad av gammastrålning

1. Tag bort blyteglan och absorbatorkälken från skenorna.
2. Mät doshastigheten som källan orsakar med en doshastighetsmätare nära källan, ungefär på 5-10 cm:s avstånd. Mät även doshastigheten där du sitter och jobbar samt utanför rummet.
3. Ställ till slut detektorns högspänning på noll och stäng av apparaturen.

6 Behandling av resultaten

6.1 Avståndets inverkan på gammastrålningens intensitet

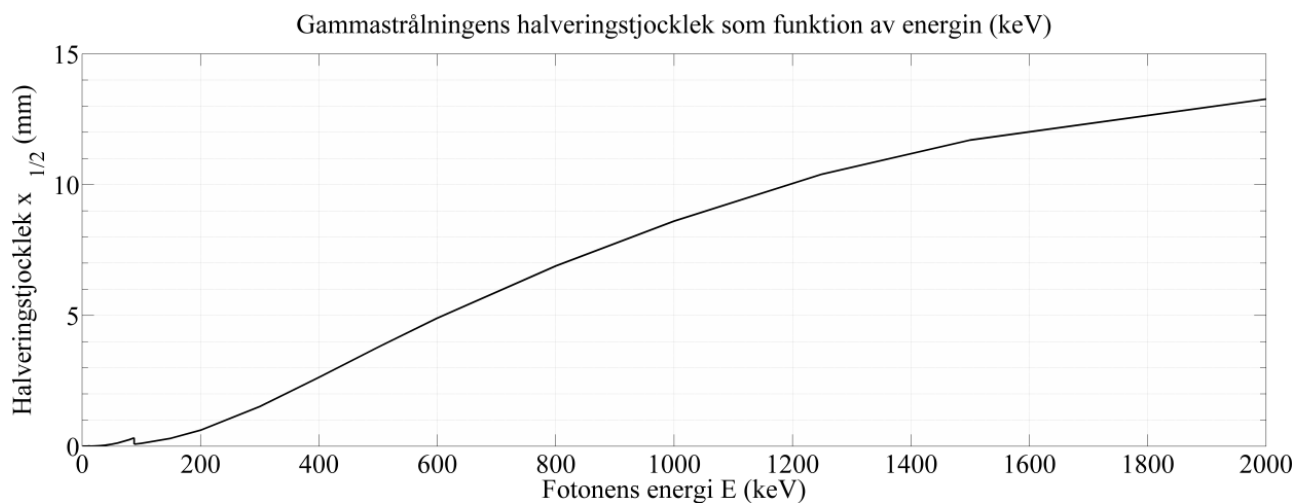
1. Räkna ut värdet $1/r^2$ för de olika värdena på r .
2. Rita upp pulsfrekvensen $\frac{dn}{dt}$ som funktion av kvadraten av avståndets invers $1/r^2$. Enligt ekvation (6) borde punkterna ligga på en rak linje. Anpassa en rak linje till punkterna och bestäm dess riktningskoefficient och tillhörande fel.
3. Skriv ut den uppritade grafen och bifoga den till svarsblanketten.
4. Bestäm källans aktivitet med tillhörande fel utgående från den anpassade riktningskoefficienten och dess fel.

6.2 Dämpning av gammastrålning i ett medium

1. Rita upp pulsfrekvensen $\frac{dn}{dt}$ som funktion av blylagrets tjocklek x ($x, \frac{dn}{dt}$).
2. Skriv ut den uppritade grafen och bifoga den till svarsblanketten.
3. Bestäm från grafen den tjocklek på blylagret då gammastrålningen som Co-60-isotopen emitterar a) halveras b) minskar till en åttondel.

7 Tankeställare

1. Beräkna Co-60-källans aktivitet R nu, utgående från sönderfallslagen och detta värde. Jämför resultatet med värdet på aktiviteten som bestämts i detta arbete.
2. Svarar dämpandet av gammastrålningen i ett medium med den teoretiska modellen? Jämför även figur 3 med den tjocklek på bly som krävs för att intensiteten skall halveras som du bestämt. Svarar värdena mot varandra?
3. Jämför de uppmätta värdena på doshastigheten med bakgrundsstrålningens doshastighet. Uppskatta hur din strålningsdos ökade under mätningarna p.g.a. källan som användes i arbetet.
4. Fundera på, utgående från detta arbete, hur man kan minimera exponeringen av strålning då man är tvungen att arbeta med radioaktiva ämnen eller joniserande strålning.



Figur 3. Gammastrålningens halveringstjocklek beroende av fotonens energi E_γ . Grafen är uppritad baserat på koefficienten $\mu(E_\gamma)$ för hur gammastrålning dämpas i bly. [4]

Källor

- [1] D.C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4th edition, International edition, Pearson Education, Inc, 2009.
- [2] Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford: University Physics with Modern Physics. International Edition. 13. painos. Pearson Education, 2011.
- [3] Halliday, Resnick, Walker, Fundamentals of Physics Extended, Extended 9th edition, International Student Version, Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [4] National Institute of Standards and Technology: “ Mass Attenuation Coefficients”
<http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>