

## Gamma-kaskaden i Ni-60

I dette eksperiment demonstreres, at der udsendes to gammakvanter samtidigt, når Co-60 henfalder.

### Teori

Som det fremgår af henfaldsskemaet, efterfølges hvert betahenfald af Co-60 indenfor ca. 1 picosekund af en kaskade af to gammakvanter med energierne 1,17 MeV og 1,33 MeV. Dette er mange gange hurtigere, end vores udstyr kan skelne, og vi kan derfor betragte gammakvanterne som udsendt eksakt samtidigt.

Ved benyttelse af almindelige GM-rør kan vi ikke skelne mellem kvanterne ud fra deres energi, så for at påvise eksistensen af kaskaden, må vi gå efter samtidigheden.

Eksperimentelt bestemmes denne med to GM-rør samt en koincidensboks med et tidsvindue  $\tau$ . Hvis afstanden mellem to begivenheder er mindre end  $\tau$ , registreres de som samtidige. For Frederiksens koincidensboks (5138.00) er  $\tau = 1 \mu\text{s}$ .

At vi registrerer to begivenheder som samtidige, garanterer dog ikke, at de faktisk har noget med hinanden at gøre – det kunne jo være gammakvanter fra to forskellige henfald, som tilfældigt ramte hver sin detektor indenfor tidsrummet  $\tau$ . Heldigvis er det simpelt at beregne hyppigheden af sådanne *tilfældige koincidenser*:

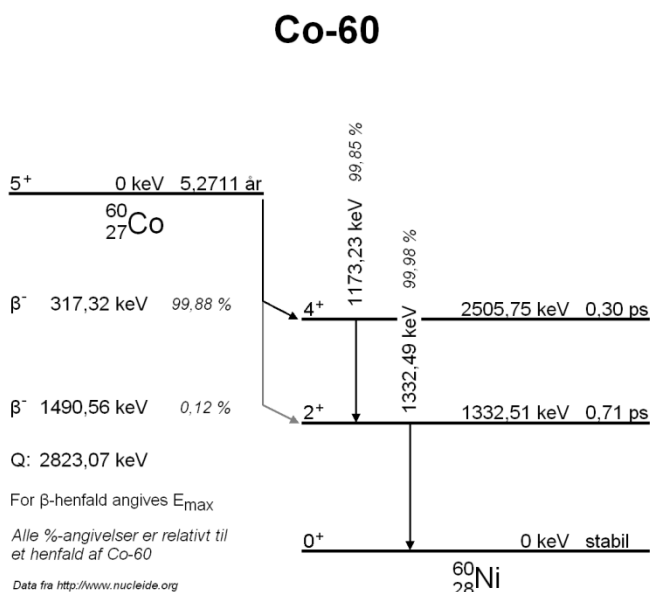
Kald tællehastigheden for de to detektorer for hhv.  $r_A$  og  $r_B$ . Tællehastigheden for tilfældige koincidenser  $r_R$  er da givet ved udtrykket

$$r_R = 2 \cdot \tau \cdot r_A \cdot r_B$$

NB: Det er vigtigt at regne med *tællehastigheder* (dvs. tællinger pr. sekund) og ikke med tælleletal.

### Udstyr

- 5100.35 Co-60 kilde
  - 5100.30 Cs-137 kilde
  - 5125.15 (2) GM-rør på stang, BNC-stik (andre OK, men to *ens* rør skal anvendes)
  - 5138.00 Koincidensboks
  - 5136.00 Geigertæller (alle tællere, som accepterer 6 mm jack-stik, kan anvendes)
  - 5125.65 USB kommunikationsadapter for 5136.00 (hvis PC skal bruges)
  - 5140.10 (2) Pb-absorbere, ca. 1mm (f.eks. fra 5140.06, 5141.00 eller 5140.05)
- Stativmateriale mv. – f.eks. følgende, som anvendes i flere andre eksperimenter med koincidensboksen:
- 2946.50 Drejeled for optisk bænk
  - 5141.95 Kildeholder for drejeled
  - 5141.02 (2) Skinne til opstillingsbænk, 40 cm



## Fremgangsmåde

De to detektorer tilsluttes indgang 1 og 2 på koincidensboksen. Lad indgang 1 være *Enabled* og indgang 2 være *Disabled*. Den ubenyttede indgang 3 skal under hele eksperimentet være *Disabled*.

Udgangen fra koincidensboksen tilsluttes tælleren, som indstilles til at tælle i 10 sekunders intervaller. Hvis der måles mindre end 1500 tællinger pr. 10 sekunder, kan tælleren evt. sættes til at måle i 60 sekunders intervaller.

For at undgå at registrere spredt stråling, forsynes GM-rørene begge med en tynd absorberplade af bly. Pladen fastholdes med en strimmel tape. Kilden monteres symmetrisk mellem de to GM-rør i holder 5141.95. Afstanden mellem kilden og rørene gøres så lille som muligt.

Når målingerne er påbegyndt, må der ikke længere ændres på geometrien. De elektriske forbindelser må heller ikke ændres. Stikkene skal forblive i apparaterne.



Mål tælle-tallet på indgang 1 i 5 minutter sammenlagt (notér samtlige tælle-tal – og notér tid pr. måling). Gentag for indgang 2 – dvs. lad indgang 1 være *Disabled* og indgang 2 være *Enabled*.

For at bestemme tælle-tallet i koincidens sættes både indgang 1 og 2 til *Enabled*.

Tælle-hastigheden er *væsentligt* lavere end før (typisk 2-3 tællinger pr. 100 s). Tælleren kan derfor sættes til at måle i længere tidsintervaller – husk at notere den nye tid.

Mål koincidens-tælle-tallene så længe som praktisk muligt – en time vil være passende.

## Kontrolmåling

Som en kontrol af teorien bør man foretage et eksperiment, hvor der *ikke* forventes korrelerede gammakvanter. Der kan f.eks. anvendes en Cs-137 kilde, som kun udsender ét gammakvant pr. henfald. Udførelsen sker som for den oprindelige måling.

Gammastrålingen fra denne kilde har lavere energi end fra Co-60 kilden, og GM-rørets effektivitet bliver derved lavere. Der må forventes noget lavere tælle-tal end for Co-60. Det kræver med andre ord længere tid at udføre kontroleksperimentet end målingen på Co-60, hvis den samme præcision ønskes.

## Databehandling

Følgende skal udføres for hver af de to måleserier (Co-60 og Cs-137):

Ud fra de tre måleserier bestemmes de gennemsnitlige tællehastighederne  $r_A$ ,  $r_B$  og  $r_{AB}$  for hhv. de to detektorer hver for sig og i koincidens.

Beregn tællehastigheden for tilfældige koincidenser og derudfra tællehastigheden af reelle koincidenser.

## Anvendelse af PC (valgfrit)

Til registrering af tælle tallene kan man sammen med geigertælleren 5136.00 (eller den tidligere model 5135.35) anvende programmet Datalyse, som gratis kan hentes på <http://datalyse.dk>

Det kræver et specielt kabel (afh. af modellen), som anskaffes som tilbehør.

I Datalyse vælges den aktuelle tæller og der vælges "Halveringstid" som eksperimenttype.

Impulserne fra koincidensboksens udgang kan også tælles op ved hjælp af universelt dataopsamlingsudstyr; jackstikket passer direkte i Pascos digitalinterface PS-2159.

## Lærernoter

### Tællehastigheder

Tællehastigheden af koincidenser kan virke overraskende lav.

Årsagen er bl.a. den lave følsomhed af GM-rør overfor gammastråling. Antag for eksemplets skyld en effektivitet på 2 %. Da bliver effektiviteten for tællinger med to rør i koincidens  $0,02^2 = 0,0004$  eller 0,04 %. Detektorernes rumvinkel indgår også i anden potens, idet de to gammakvanter kun er svagt rumligt korrelerede (i modsætning til f.eks. kvanterne fra positronannihilation).

### Anvendelse af absorbere

De to GM-rør forsynes som nævnt med 1 mm Pb-absorberplader. Hvis de udelades, vil der optræde koincidenser, som ikke er "tilfældige" i statistisk forstand, men som heller ikke stammer fra de gammakvanter, vi er interesseret i.

Når f.eks. Cs-137 henfalder, vil der ud over gammakvanter med  $E = 662$  keV udsendes masser af røntgen fra Ba-137, Comptonspredt gamma samt betastråling fra såvel overgangen til 662 keV-niveauet som den svage overgang til grundtilstanden i Ba-137. Meget af denne stråling absorberes i selve kilden, men noget slipper ud. Da denne stråling udsendes synkront med gammastrålingen (i forhold til et vindue på 1  $\mu$ s), vil den give koincidenstællinger. Uden Pb-absorbere kan antallet af ægte koincidenser fra Cs-137 være op til en fjerdedel af de registrerede koincidenser.

### Usikkerhedsvurdering

Især i kontroleksperimentet med Cs-137 bør man have en ide om måleusikkerheden. Et eksperiment, hvor det forventede resultatet er nul, vil ellers være vanskeligt at vurdere.

Usikkerhedsberegningen er en smule kompliceret. For at lette arbejdet, har vi udarbejdet et regneark, som kan findes på vores hjemmeside [www.frederiksen.eu](http://www.frederiksen.eu) (søg efter "5138.00").

### Koincidensvinduet

Størrelsen  $\tau$  indgår direkte i beregningen af de tilfældige koincidenser. Koincidensboksen er fabriksjusteret, så  $\tau = 1 \mu\text{s} \pm 3 \%$ . Hvis denne nøjagtighed ikke er tilstrækkelig, må man selv i gang med at bestemme værdien.

En måling af  $\tau$  kan ske ved at anvende formlen for tilfældige koincidenser. For at sikre, at der virkelig måles på tilfældige koincidenser, anvender man to uafhængige kilder – og holder så stor afstand mellem de to GM-rør som muligt.

### Baggrundsstråling

Enkelttællingerne, som benyttes til bestemmelse af tilfældige koincidenser, skal ikke korrigeres for baggrundsstråling. De tilfældige koincidenser forekommer helt uafhængigt af strålingens oprindelse – baggrundsstrålingen bidrager på lige fod med strålingen fra kilderne.

(Med kilderne så tæt på som i disse eksperimenter, kan korrektionen til tællertallene i øvrigt negligeres.)

I koincidens vil der optræde ganske få tilfælde, hvor en partikel fra baggrundsstrålingen har passeret begge rør, eller hvor en partikelbyge fra den kosmiske stråling rammer. Vi har eksempelvis målt 3 koincidenser på en time uden kilder.

Hvis man ønsker at korrigere for denne effekt – og hvis det skal være statistisk set meningsfyldt – skal der måles i ganske lang tid. I praksis kan man lade en PC samle koincidencesdata for et døgn.

Hvis større rør anvendes, vil følsomheden for baggrunds-koincidenser vokse.