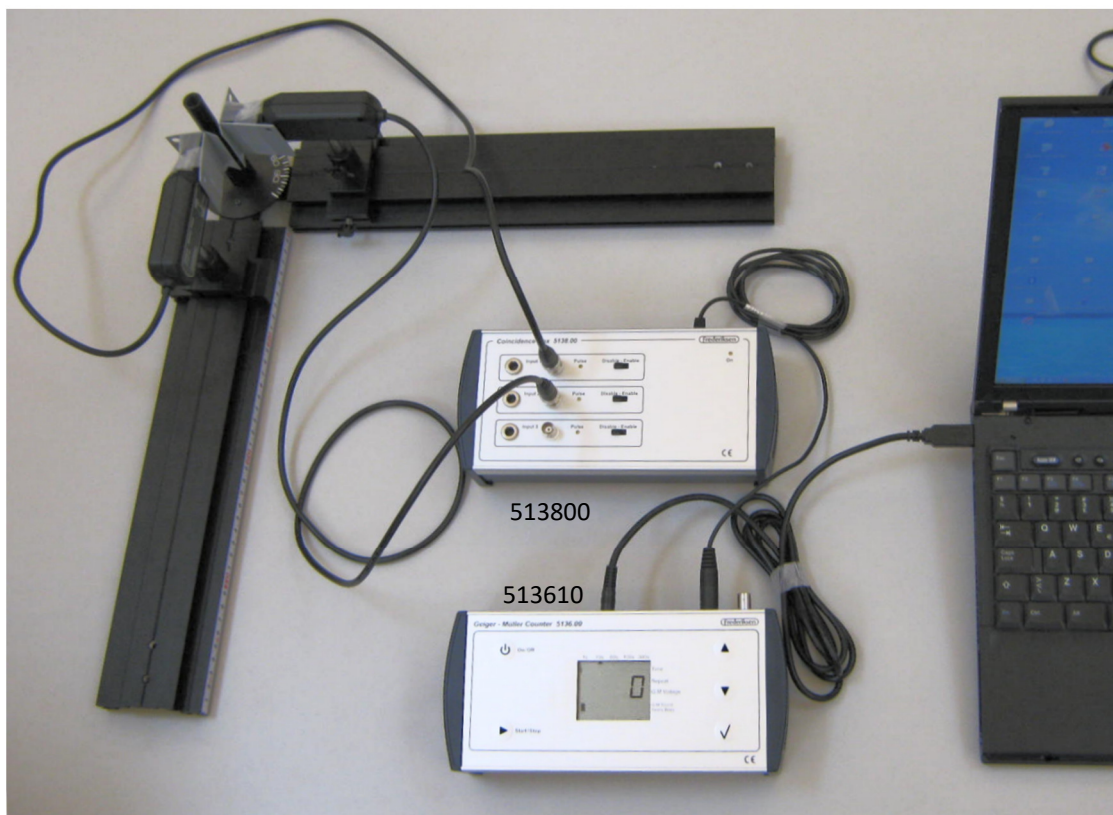


Nummer	138750	Emne	Radioaktivitet		
Version	2017-08-28 / HS	Type	Elevøvelse	Foreslås til	gymA
					p. 1/4



## Formål

I dette eksperiment demonstreres, at gammakvanterne fra annihilationen af et positron-elektronpar er kraftigt retningskorrelerede.

## Princip

Der måles med to GM-rør tilsluttet en koincidensboks. Rørene placeres i forhold til kilden i en vinkel, som vælges til hhv.  $180^\circ$  og  $90^\circ$ . Koincidenstællehastigheden for  $180^\circ$  er markant højere end for  $90^\circ$ .

Apparaturet kan ikke skelne mellem annihilationskvanter og gammakvanter fra datterkernen Ne-22. Derfor bliver koincidenstællehastigheden forskellig fra 0 ved vinklen  $90^\circ$ .

## Apparatur

(Se sidste side for en detaljeret liste)

Kilde: Na-22

To GM-rør

Koincidensboks

Tæller (Evt. dataopsamlingsudstyr)

Stativmateriale: Det anbefales kraftigt at benytte det viste system, hvor vinklen kan variere, med øvrige parametre uændrede.

## Opstilling

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.

Monter de to GM-rør, så de har samme afstand til omdrejningspunktet i drejelejet.

For så vidt muligt at undgå at registrere spredt stråling, forsynes GM-rørene begge med en tynd absorberplade af bly foran røret. Pladen fastholdes med en strimmel tape. På billedet er også vist en absorber på den side af GM-rørene, som vender ind mod hinanden – den er ikke strengt nødvendig.

Blypladerne foran detektorerne skal nok have et lille bøj for at kunne være der ved vinklen 90 grader. Kontroller, at pladerne ikke kommer i vejen, når vinklen ændres.

Når målingerne er påbegyndt, må der ikke længere ændres på geometrien – pas på, at blypladerne ikke hænger og vipper. De elektriske forbindelser må heller ikke ændres. Stikkene skal forblive i apparaterne.

## Måleprogram

Med indgang 1 *Enabled* og indgang 2 *Disabled* måles tælle-tallet 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.

Ovenstående tre målinger gennemføres for vinklerne  $\frac{\pi}{2}$  og  $\pi$  (dvs. 90° og 180°) så længe som praktisk muligt – en time vil være passende. Hvis der er tid til det, gentages målingen for en til to yderligere vinkler.

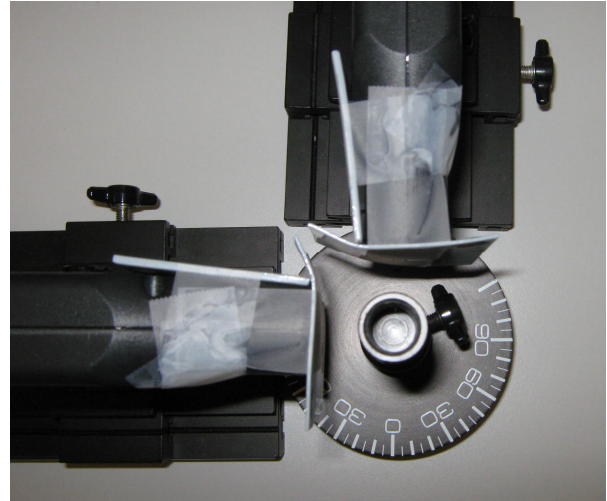
## Anvendelse af PC (valgfrit)

Til registrering af tælle-tallene kan man sammen med geigertælleren 513600 (eller den tidligere model 513535) anvende programmet Datalyse, som gratis kan hentes på <http://datalyse.dk>

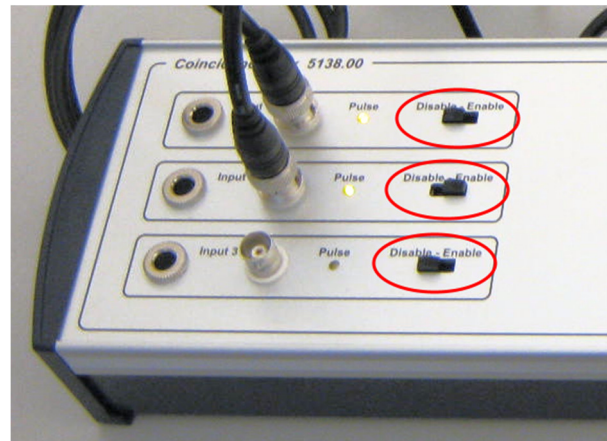
Det kræver et specielt kabel (afh. af modellen), som anskaffes som tilbehør.

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.

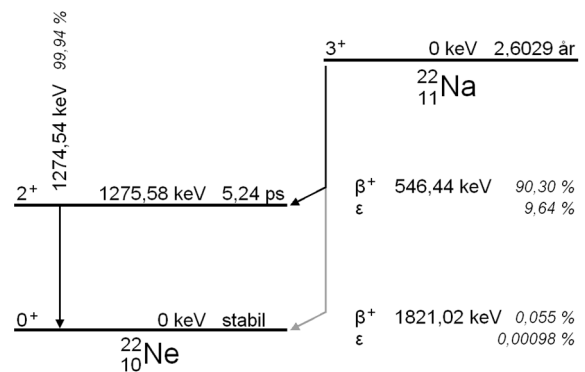


Placering af absorbere



Styring af indgangene - se tekst

## Na-22



Q: 2843,02 keV

For  $\beta$ -henfald angives  $E_{\max}$

Alle %-angivelser er relativt til et henfald af Na-22

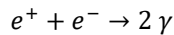
Data fra <http://www.nucleide.org>

## Teori

Na-22 henfalder i 90,3 % af tilfældene ved  $\beta^+$ -henfald til Ne-22.

Som det ses af henfaldsskemaet, sker dette til et exciteret niveau i Ne-22, som derefter henfalder under udsendelse af et gammakvant. Samme exciterede niveau befolkes af 9,6 % af henfaldene via elektronindfangning.

Positronen nedbremses hurtigt og annihilere med en elektron under udsendelse af to gammakvanter.



Da positronen nedbremses inden annihilationen, vil disse to gammakvanter altid udsendes i diametralt modsatte retninger (følger af energi- og impulsbevarelse).

Vi vil forsøge at eftervise denne anisotropi.

Den eksperimentelle opstilling består af to GM-rør samt en koincidenzboks med et tids-vindue  $\tau$ . Hvis afstanden mellem to begivenheder er mindre end  $\tau$ , registreres de som samtidige. For Frederiksens koincidenzboks (5138.00) er  $\tau = 1 \mu\text{s}$  ( $\pm 3\%$ ).

Der skal her udføres to koincidenzmålinger med en vinkel på  $90^\circ$  og  $180^\circ$  mellem de to detektorer, set fra kilden. Man kunne umiddelbart tro, at der ville være en masse koincidenstællinger for  $180^\circ$  og ingen for  $90^\circ$ , men helt så simpelt er det ikke.

## Korrelation med prompt gamma

Alle de ovenfor beskrevne processer forløber hurtigere end det benyttede udstyr kan skelne. Derfor vil den prompte gammastråling fra kernen registreres som udsendt samtidigt med annihilationskvanterne. Da der benyttes GM-rør som detektorer, kan heller ikke energien af gammakvanterne benyttes til at skelne imellem dem. Vi må derfor forvente en del koincidence mellem et af annihilationskvanterne og det prompte gammakvant.

(Det er i princippet muligt at beregne det forventede bidrag til koincidenstællehastigheden fra disse "blandede" koincidence, men det er ikke helt simpelt. Resultatet afhænger bl.a. af effektiviteten af de benyttede GM-rør ved de to involverede energier. Vi vil ikke gå nærmere ind på dette.)

## Tilfældige koincidence

At vi registrerer to begivenheder som samtidige, garanterer 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 koincidence*:

Kald tællehastigheden for de to detektorer for hhv.  $r_1$  og  $r_2$ . Tællehastigheden for tilfældige koincidence  $r_{RND}$  er da givet ved udtrykket

$$r_{RND} = 2 \cdot \tau \cdot r_1 \cdot r_2$$

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

## Korrelationsfunktionen

Når man arbejder med vinkelafhængighed af koincidence-tælletal, vil man ofte betragte nedenstående funktion, som udtrykker forskellen mellem målingen i vinklen  $\theta$  og en standardvi006Ekel (som vi vælger til vinklen  $\frac{\pi}{2}$  dvs.  $90^\circ$ )

$$\varepsilon(\theta) = \frac{n(\theta) - n(\frac{\pi}{2})}{n(\frac{\pi}{2})} = \frac{n(\theta)}{n(\frac{\pi}{2})} - 1$$

Her er  $n(\theta)$  den *normerede tællehastighed* af koincidenstællinger med vinklen  $\theta$  mellem detektorerne. (Normeringen forklares nærmere nedenfor.) Korrelationsfunktionen  $\varepsilon(\theta)$  udtrykker den relative tilvækst i tællatal i vinklen  $\theta$ , relativt til vinklen  $\frac{\pi}{2}$ .

## Normering af koincidenstællehastighederne

I dette tilfælde er den effekt, vi ønsker at vise – udtrykt ved  $\varepsilon(\pi)$  – temmelig stor. Vi kan derfor sådan set bare anvende koincidenstællehastighederne uden videre:

$$n = r_C$$

Men ønsker man en procedure, som også kan anvendes, når vinkelafhængigheden bliver mindre tydelig, skal tællehastighederne *normeres*, for ikke at introducere fejl, som er i samme størrelsesorden som den effekt, vi prøver at måle:

Kilden kan være en smule inhomogen og afstande kan være en smule upræcise. Det er således ikke nok at lade tællingerne ske over et bestemt tidsrum og i en bestemt målt afstand for at kunne sammenligne dem. Vi *normerer til samme ukorrelerede tællehastighed* ved at dividere koincidenstællehastighederne med de to individuelle tællehastigheder. Tilfældige korrelationer, som omtalt ovenfor, fratrækkes inden normeringen.

$$n = \frac{r_C - r_{RND}}{r_1 \cdot r_2} = \frac{r_C}{r_1 \cdot r_2} - 2 \cdot \tau$$

- hvor  $r_C$ ,  $r_1$  og  $r_2$  er koincidenstællehastigheden og de to individuelle tællehastigheder *for den pågældende vinkel*.

Det giver nogle ret små tal og en pudsig enhed for en "hastighed", men indsat i korrelationsfunktionen giver det stadig det korrekte resultat.

## Databehandling

Følgende udføres for hver vinkel:

Ud fra de tre måleserier bestemmes de gennemsnitlige tællehastigheder  $r_1$ ,  $r_2$  og  $r_{12}$  for hhv. de to detektorer hver for sig og i koincidence.

Beregn tællehastigheden for tilfældige koincidence og derudfra tællehastigheden af reelle koincidence. Normér koincidenstællehastighederne.

Beregn  $\varepsilon(\theta)$  for de anvendte vinkler.

Kommenter resultatet.

## Noter til læreren

### Tællehastigheder

Den lave tællehastighed i koincidens skyldes bl.a. den lave effektivitet af GM-rør overfor  $\gamma$ -stråling. I koincidens kvadreres effektiviteten.

### Anvendelse af absorberere

De to GM-rør forsynes med 1 mm Pb-absorberplader. Ellers vil spredt stråling kunne bevirke koincidenser, som ikke er "tilfældige" i statistisk forstand, men som heller ikke stammer fra de gammakvanter, vi er interesseret i.

### Usikkerhedsvurdering

For at lette arbejdet, har vi udarbejdet et regneark, som kan findes på vores hjemmeside [www.frederiksen.eu](http://www.frederiksen.eu) (søg efter "138750").

Usikkerheden på tællehastighederne er:

$$\Delta r_C = \sqrt{\frac{r_C}{T}} \quad \Delta r_1 = \sqrt{\frac{r_1}{T_1}} \quad \Delta r_2 = \sqrt{\frac{r_2}{T_2}}$$

- hvor  $T$ ,  $T_1$  og  $T_2$  er måletiden for de tre tællehastigheder  $r_C$ ,  $r_1$  og  $r_2$ .

Usikkerheden på  $n(\theta)$  og  $\varepsilon(\theta)$  bestemmes:

$$\Delta n = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial r_C} \Delta r_C\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial r_1} \Delta r_1\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial r_2} \Delta r_2\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \tau} \Delta \tau\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{r_C}{r_1 \cdot r_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{r_C \cdot T} + \frac{1}{r_1 \cdot T_1} + \frac{1}{r_2 \cdot T_2}\right) + 4 \cdot (\Delta \tau)^2}$$

$$\Delta \varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial n_\theta} \Delta n_\theta\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial n_{\frac{\pi}{2}}} \Delta n_{\frac{\pi}{2}}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{n_{\frac{\pi}{2}}^2} \cdot (\Delta n_\theta)^2 + \frac{n_\theta^2}{n_{\frac{\pi}{2}}^4} \cdot (\Delta n_{\frac{\pi}{2}})^2}$$

I praksis dominerer usikkerheden på  $r_C$ :

$$\Delta n \approx \frac{1}{r_1 \cdot r_2} \cdot \sqrt{\frac{r_C}{T}} \quad \text{og} \quad \Delta \varepsilon \approx \frac{1}{r_C - r_{RND}} \cdot \sqrt{\frac{2r_C}{T}}$$

### 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 formelen 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.

## Detaljeret apparaturliste

### Specifikt for eksperimentet

- 510037 Na-22 kilde
- 512515 (2) GM-rør på stang, BNC-stik (andre OK, men to ens rør skal anvendes)
- 513800 Koincidensboks
- 513610 Geigertæller (el. 513600, alle tællere, som accepterer 6 mm Jack-stik, kan anvendes.)
- 512565 USB kommunikationsadapter for 513600 (hvis PC skal bruges)
- 514010 (4) Pb-absorberere, ca. 1mm (f.eks. fra 514006, 514100 eller 514005)

Stativmateriale mv. – f.eks. følgende, som anvendes i flere eksperimenter med koincidensboksen:

- 294650 Drejeled for optisk bænk
- 514195 Kildeholder for drejeled
- 514102 (2) Skinne til opstillingsbænk, 40 cm

### Diverse forbrugsstoffer

Tape til fiksering af absorberplader

## Reklamationsret

Der er to års reklamationsret, regnet fra fakturadato. Reklamationsretten dækker materiale- og produktionsfejl.

Reklamationsretten dækker ikke udstyr, der er blevet mishandlet, dårligt vedligeholdt eller fejlmonteret, ligesom udstyr, der ikke er repareret på vort værksted, ikke dækkes af garantien.

Returnering af defekt udstyr som garantireparation sker for kundens regning og risiko og kan kun foretages efter aftale med Frederiksen. Med mindre andet er aftalt med Frederiksen, skal fragtbeløbet forudbetales. Udstyret skal emballeres forsvarligt.

Enhver skade på udstyret, der skyldes forsendelsen, dækkes ikke af garantien. Frederiksen betaler for returnering af udstyret efter garantireparationer.

© Frederiksen Scientific A/S

Denne brugsvejledning må kopieres til intern brug på den adresse hvortil det tilhørende apparat er købt. Vejledningen kan også hentes på vores hjemmeside