

Nummer	138980	Emne	Partikelfysik, kosmisk stråling		
Version	2017-10-03 / HS	Type	Projekt / længerevarende måleserie	Foreslås til	gymA p. 1/4



## Formål

Fastlæggelse af en kurve for vinkelfordelingen af myoner i den kosmiske stråling.

## Princip

En linje gennem to (eller tre) Geiger-Müller-rør definerer den retning, de registrerede partikler ankommer fra. Ved at anbringe en tyk absorber mellem rørene sikres det, at der kun måles på stråling med stor gennemtrængningsevne.

De første målinger af vinkelafhængigheden fandt sted i starten af 1930'erne, kort efter opfindelsen af koincidencekredsløbet.

## Apparatur

Myon-observatorium  
GM-rør med stort areal (2 til 3 stk.)  
Koincidenceboks  
GM-tæller  
Evt. dataopsamlingsudstyr

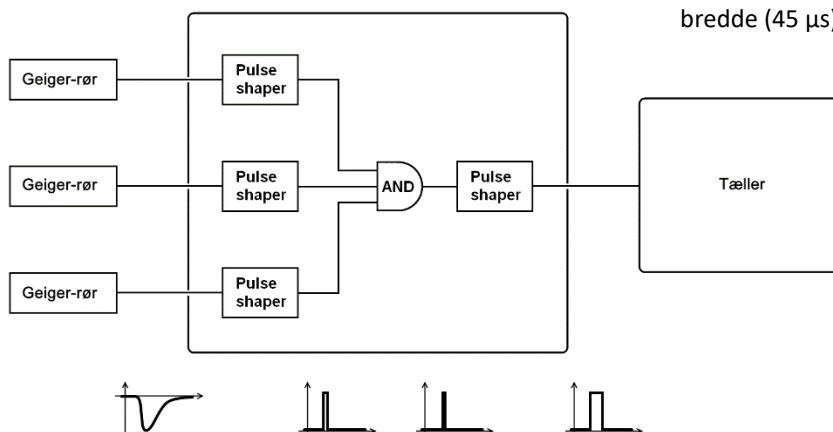
## Koincidenceboksen

Signalet fra hvert af de Geiger-Müller-rørene passerer et kredsløb, hvor pulsbredden kortes ned til 1  $\mu$ s.

Signaler samles derefter i en AND gate, og kun hvis de alle tre er aktive *samtidigt*, vil udgangen på AND gaten aktiveres.

(En kanal, som er disabled, sætter sin indgang til AND gaten aktiv.)

Pulserne fra AND gatens udgang tildes en passende bredde (45  $\mu$ s), inden de sendes ud af boksen.



## Opstilling og kontrol af udstyret

Udstyret skal anbringes, så det kan stå i fred i den periode, målingerne skal foretages.

Anbring alle absorberpladerne i magasinet og spænd holderen ned mod pladerne.

Anbring to eller tre ryttere på skinnen. Den ene af rytterne skal placeres bag absorberpladerne, de øvrige foran. Sæt GM-rørene på rytterne, så de vender på tværs af længderetningen.

Det er tilstrækkeligt med to GM-rør, hvis man kan acceptere en enkelt eller to falske tællinger i hele måleperioden. Med tre GM-rør vil sådanne tilfældige koincidenser helt kunne negligeres.

Større afstand mellem de yderste rør giver naturligvis en mere præcis vinkelbestemmelse – men det sker på bekostning af tællertallet. Fotografiet på side 1 viser en opstilling, som vil resultere i meget lave koincidens-tællertal – kortere afstand anbefales klart.

Drej skinnen, så den peger lodret op ( $\theta = 0^\circ$ ), og spænd den fast.

Forbind GM-rørene til hver sin indgang på koincidensboksen.

Koincidens-tællehastigheden er meget lav, så vi vil kontrollere udstyret grundigt, inden vi starter målingen:

Forbind udgangen af koincidensboksen til en GM-tæller – det er simplest at kontrollere opstillingen med en sådan (evt. dataopsamlingsudstyr kan tilsluttes senere). Indstil tælleren til at tælle kontinuert og start den.

På koincidensboksen sættes alle tre omskiftere først på *Disable*.

Med én omskifter ad gangen sat til *Enable*, kontrolleres det, at aktiviteten (fra baggrundsstrålingen) på den tilhørende lysdiode også registreres på tælleren.

Herefter kan evt. dataopsamlingsudstyr tilsluttes. Et godt valg vil være programmet Datalyse (hentes på [datalyse.dk](http://datalyse.dk)), som fungerer perfekt sammen med vores GM-tæller 513600. Vil man være helt sikker, gentager man kontrollen for en af de individuelle indgange som beskrevet ovenfor.

## Udførelse

Omskifterne for alle de anvendte kanaler indstilles nu på *Enable*.

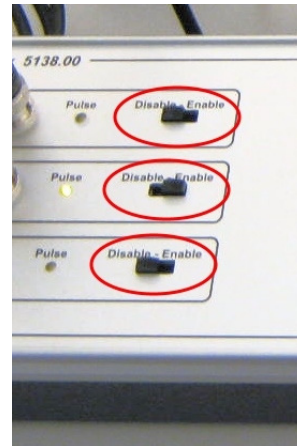
Nulstil tælleren. Start målingen. Vent ca. et døgn.

Notér vinklen (her  $0^\circ$ ), tælleperiode og tællertal.

Drej observatoriet til en ny vinkel, f.eks.  $15^\circ$ .

Start en ny måling over et døgn.

Der fortsættes, til skinnen er vandret.



Input 2 kontrolleres

## Efterbehandling af data

Måleusikkerheden på tællertallet  $N$  er som bekendt givet ved  $\Delta N = \sqrt{N}$ .

Kalder vi måleperioden for  $T$ , kan tællertallene omregnes til tællehastigheder med udtrykket

$$r = \frac{N}{T}$$

... med tilhørende usikkerheder

$$\Delta r = \frac{\Delta N}{T} = \frac{\sqrt{N}}{T}$$

Usikkerheden på zenitvinklen vil maksimalt være

$$\Delta\theta = \arctan\left(\frac{D}{L}\right)$$

hvor  $D$  er GM-rørets effektive diameter og  $L$  er afstanden mellem de to (yderste) rør.

(Frederiksens GM-rør 512525 og 513565 har en effektiv diameter på 28,6 mm.)

Afbild nu tællehastigheden som funktion af vinklen.

Afsæt usikkerhederne på tællehastighederne som lodrette linjestykker over og under hvert målepunkt. Tilsvarende afsættes usikkerheden på vinklen som vandrette linjestykker.

(Det er muligt at få et regnearksprogram til at indtegne disse "usikkerhedsfaner".)

I samme koordinatsystem tegnes grafen for

$$f(\theta) = K \cdot \cos^2(\theta)$$

– med en passende værdi for  $K$ , så punkterne for  $\theta \approx 0$  rammes bedst muligt.

Kommenter resultatet.

## Teori

Den præcise vinkelafhængighed afhænger bl.a. af myonernes impulsspektrum ved deres dannelse i den øvre atmosfære. En fuldstændig behandling er temmelig kompliceret.

Det kan dog lade sig gøre under passende antagelser at vise, at intensiteten ved zenitvinklen  $\theta$  er tilnærmelsesvis proportional med  $\cos^2(\theta)$ .

Denne afhængighed tager hensyn til, at myonerne henfalder på vejen ned gennem atmosfæren – undlades dette, fås en mere "bredskuldret" fordeling (ca. 30% højere værdier ved  $45^\circ$ ).

Eksponenten på cosinusfaktoren er ikke nødvendigvis præcis 2 – der ses ofte en smule højere værdier, som f.eks. 2,16.

Læs evt. nærmere i Haymes' artikel (se litteraturlisten).

Bemærk, at ved målinger nær vandret er detektoren følsom over for partikler fra begge sider, hvilket vil give måleresultater i dette område, som er op til en faktor 2 for høje.

## Et par facts om myoner

Myoner forekommer som såvel positivt som negativt ladede partikler ( $\mu^+$ ,  $\mu^-$ ). En myon er ca. 200 gange tungere end en elektron. Myoner er ustabile med en halveringstid på 2,197  $\mu\text{s}$ .

Myoner opfører sig tilsvarende elektroner, men på grund af masseforskellen vil strålingslængden for myoner være ca.  $200^2 = 40.000$  gange større end for elektroner.

Myoner fra den kosmiske stråling, som når ned i højde med havoverfladen, har en gennemsnitsenergi på ca. 4 GeV.

Myonernes energitab ved ionisation er forholdsvis konstant 2 MeV pr.  $\text{g}/\text{cm}^2$ . Atmosfærens tykkelse er ca. 1000  $\text{g}/\text{cm}^2$ , så myonerne må produceres med en gennemsnitsenergi på ca. 6 GeV.

## Litteratur

Robert C. Haymes: *The zenith angle variation of cosmic ray mu meson intensity*

- kan findes her:

[www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/032471.pdf](http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/032471.pdf)

En biografi af Bruno B. Rossi (opfinderen af koincidens kredsløbet) kan finde på Wikipedia:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Bruno\\_Rossi](http://en.wikipedia.org/wiki/Bruno_Rossi)

Koincidensmålinger, herunder tilfældige koincidenser behandles i

Peter Dunne: *Demonstrating cosmic ray induced electromagnetic cascades*.

- som kan findes her:

<http://hst-archive.web.cern.ch/archiv/HST2000/teaching/expt/muons/cascades.htm>

## Noter til læreren

### Benyttede begreber

Måleusikkerhed

### Matematiske forudsætninger

Plotning af grafer med usikkerheder

### Om apparaturet

De angivne GM-rør kan erstattes med 2 eller 3 stk. 513565 GM-sensor ekstra følsom, Jack – blot bør de to typer ikke blandes.

Den angivne GM-tæller med tilhørende kommunikationskabel kan erstattes af anden tæller eller dataopsamlingsudstyr. Koincidensboksen leveres med et kabel, som også passer i f.eks. Pasco's digitaladapter.

Overvej at forsyne måleopstillingen med en billig UPS, så forstyrrelser i netspændingen ikke ødelægger målingerne.

### Tilfældige koincidenser

I koincidensmålinger optræder tilfældige koincidenser som en slags "baggrundsstråling", som man almindeligvis må tage højde for. Tællehastigheden for tilfældige koincidenser er for to kanaler givet ved

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

og tilsvarende for tre kanaler

$$r_R = K \cdot r_A \cdot r_B \cdot r_C \cdot \tau^2$$

Hvor  $r_A$ ,  $r_B$  og  $r_C$  er tællehastigheden på de tre indgange,  $\tau$  er impulsbredden ( $10^{-6}$  s), og  $K$  er en konstant, som har størrelsesordenen 1, men afhænger af eksperimentelle detaljer.

Med tællehastigheder på de enkelte indgange i størrelsesordenen  $0,5 \text{ s}^{-1}$ , vil tilfældige koincidenser optræde ca. en gang pr.  $10^5$  år med tre kanaler, mens den for to kanaler er oppe på 10-20 stykker om året. I begge tilfælde kan de tilfældige koincidenser negligeres.

## Detaljeret apparaturliste

### Specifikt for eksperimentet

514200 Myon-observatorium  
 513800 Koincidensboks

### Standard laboratorieudstyr

512525 GM-rør med stort areal (2 eller 3 stk.)  
 513610 GM-tæller (el. ældre model 513600)  
 512565 USB kommunikationsadapter for 513600

## 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 fragtbetøbet 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*