

Nummer	138970	Emne	Partikelfysik, kosmisk stråling		
Version	2017-10-03 / HS	Type	Projekt / længerevarende måleserie	Foreslås til	gymA p. 1/4



Formål

Påvisning af partikel-kaskader fra den kosmiske stråling; påvisning af en gennemtrængende komponent af strålingen.

Princip

Tre Geiger-Müller-rør indgår i et koincidens kredsløb. Ved successiv tilføjelse af stålplader foran de tre GM-rør observeres først en forøgelse i koincidenserne, siden et fald mod en konstant værdi.

Forsøget gentager nogle af Bruno B. Rossis historiske opdagelser af den kosmiske strålings opførsel.

Rossi opfandt i 1930 det første elektroniske koincidens kredsløb. I dag er komplicerede koincidensmålinger helt centrale for forskning i partikelfysik.

Apparatur

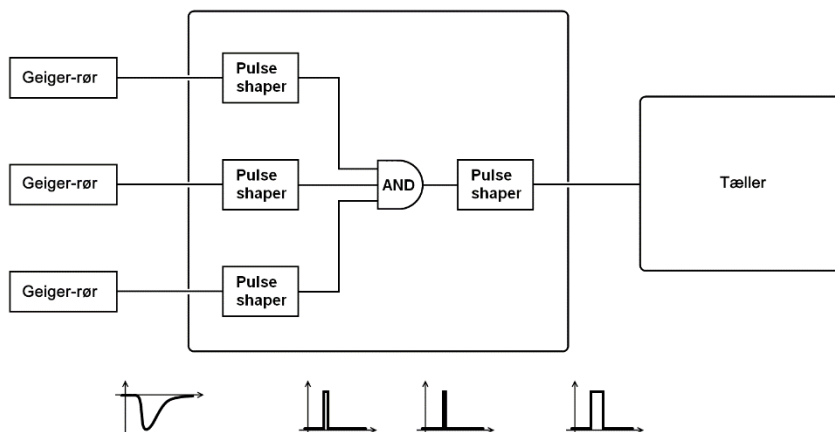
Myon-observatorium
GM-rør med stort areal (3 stk.)
Koincidensboks
GM-tæller
Evt. dataopsamlingsudstyr

Koincidensboksen

Signalet fra hvert af de tre Geiger-Müller-rør passerer et kredsløb, hvor pulsbredden kortes ned til 1 μ s.

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

Pulserne fra AND gatens udgang tildeles en passende bredde (45 μ 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.

Drej skinnen, så den peger lodret op, og spænd den fast. Anbring midlertidigt en enkelt absorberplade i magasinet. Placer holderen med de tre GM-rør, så der er 6-7 cm fra rørene op til absorberpladen.

Når rørene som nu er placeret i trekant, udelukkes muligheden for, at en enkelt partikel kan passere dem alle tre.

Forbind de tre rør 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), 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

Alle tre omskiftere indstilles nu på *Enable*.

Fjern absorberpladen.

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

Notér absorbertykkelse (her 0 mm), tælleperiode og tælleletal.

Mål tykkelsen af én absorberplade og læg den i magasinet.

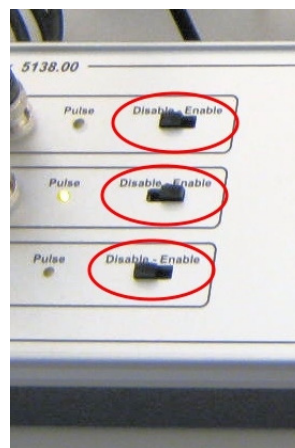
Start en ny måling over et døgn.

Overraskende nok vil tællehastigheden nu være større end uden absorber.

Fortsæt med at øge absorbertykkelsen med én plade pr. måling.

Efter nogle centimeters absorbertykkelse har tællehastigheden nået et maksimum og vil falde langsomt. Nu kan man sagtens lægge 2 eller tre plader på ad gangen (efterhånden gerne endnu flere).

Der fortsættes, til man ikke har flere absorberplader. (Supplerende plader kan anskaffes!)



Input 2 kontrolleres

Efterbehandling af data

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

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

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

... med tilhørende usikkerheder

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

Afbild nu tællehastigheden som funktion af absorbertykkelsen.

Afsæt usikkerhederne på tællehastighederne som lodrette linjestykker over og under hvert målepunkt. Hermed bliver det nemmere at vurdere visuelt, hvordan en blød kurve kan tegnes, så den viser tællehastighedens opførsel ud fra den samlede datamængde.

Fortolkning

På den følgende side skitseres lidt af vores nuværende viden om de involverede partikler – som dog ikke var kendt på det tidspunkt, B.B. Rossi udførte eksperimentet.

I kort form er resultatet, at relativistiske elektroner og fotoner ved nedbremsning i stof vil danne en kaskade, som spreder energien ud, indtil energien pr. partikel bliver for lav til pardannelse. Herefter nedbremses partiklerne hurtigt.

Myoner opfører sig principielt ligesådan, men den længdeskala, det sker over, er ca. 40.000 gange større end for elektroner.

Gør rede for, hvordan den målte kurve kan forklares ud fra to forskellige komponenter i strålingen.

Hvis vi antager, at en del af den registrerede stråling er elektroner, hvor stor energi har de da? (ca.)

Et par facts om elektroner og fotoner

Energien af en relativistisk elektron aftager eksponentielt ved passage af stof.

Efter passage af tykkelsen x er energien

$$E_x = E_0 \cdot e^{-\frac{x}{L_R}}$$

Hvor L_R kaldes strålingslængden og er givet ved

$$\frac{1}{L_R} = 4 \left(\frac{h}{2\pi mc} \right)^2 Z(Z+1) \alpha^3 n_a \ln \left(\frac{183}{Z^{1/3}} \right)$$

Her er m elektronens masse, Z er stoffets atomnummer, n_a er tætheden (atomer pr. volumen) og α er finstrukturkonstanten (1/137).

I dette energiområde mistes energien primært ved udsendelse af fotoner (bremsstrahlung).

Højenergetiske fotoner absorberes primært gennem pardannelse og deres antal aftager eksponentielt ifølge formelen

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

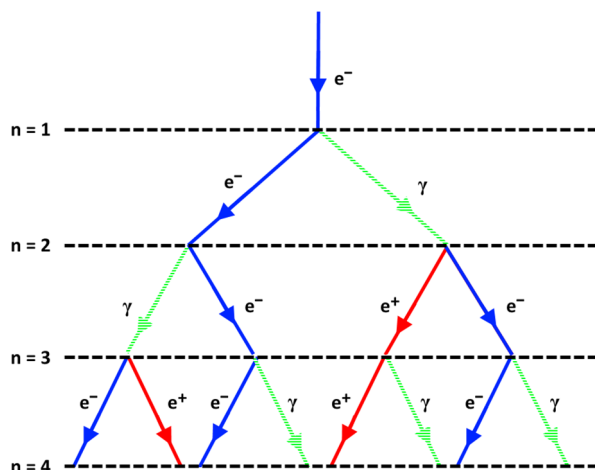
Hvor λ er middel fri vejlængde for fotoner, givet ved

$$\lambda = \frac{9}{7} L_R$$

Det ses, at de to karakteristiske vejlængder er af næsten samme størrelse.

En forenklet model af nedbremsningen kan nu opstilles:

For hver passage af en strålingslængde fordobles antallet af partikler. (Elektron \rightarrow foton + spredt elektron; foton \rightarrow elektron + positron.) Energien antages at blive delt ligeligt imellem partiklerne.



Kaskadedannelsen fortsætter, så længe energien er højere end E_C , den kritiske energi, hvor pardannelse dominerer over ionisering. Herefter standser kaskadedannelsen brat, og den resterende energi mistes ved stødprocesser.

Antallet af "generationer" i kaskaden n_{\max} kan findes som

$$n_{\max} = \frac{\ln \left(\frac{E_0}{E_C} \right)}{\ln(2)}$$

Som et groft estimat, kan man sætte

$$E_C = \frac{800 \text{ MeV}}{Z + 1,2}$$

Såfremt den kosmiske stråling består af mono-energetiske elektroner, vil antallet af partikler i kaskaden vokse eksponentielt indtil en vis maksimal absorbertykkelse og derefter falde til nul.

Et par facts om myoner

Myoner forekommer som såvel positivt som negativt ladede partikler (μ^+ , μ^-). En myon er ca. 200 gange tungere end en elektron. Myoner er ustabile med en halveringstid på 2,197 μs .

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.

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

Litteratur

Peter Dunne: *Demonstrating cosmic ray induced electromagnetic cascades*. Artiklen kan findes her:

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

Bruno B. Rossis arbejde er bl.a. beskrevet i en artikel i Wikipedia:

http://en.wikipedia.org/wiki/Bruno_Rossi

Noter til læreren

Benyttede begreber

Pardannelse
 Bremsestråling
 Strålingslængde
 Kritisk energi for pardannelse

Matematiske forudsætninger

Plotning af grafer med usikkerheder
 Indsættelse i komplicerede formler
 Eksponentielt aftagende funktioner

Om apparaturet

De angivne GM-rør kan erstattes med 3 stk. 5135.65 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 givet ved

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

Hvor r_A , r_B og r_C er tællehastigheden på de tre indgange, τ 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.

Detaljeret apparaturliste

Specifikt for eksperimentet

514200 Myon-observatorium
 513800 Koincidensboks

Standard laboratorieudstyr

512525 GM-rør med stort areal (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