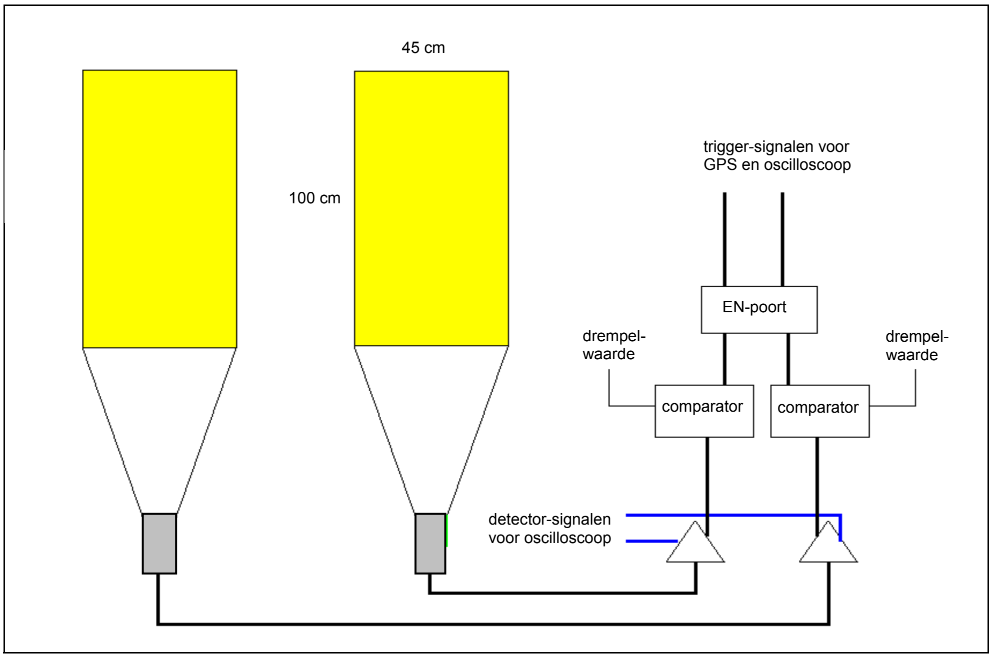
Detectie van kosmische straling

3.4 Detectiestation

Een HiSPARC detectiestation bestaat uit twee scintillatorplaten met lichtgeleiders, foto-versterkerbuizen en verwerkingselektronica. Elk van de scintillatorplaten wordt per seconde door een groot aantal muonen getroffen: de telsnelheid van zo'n scintillatorplaat is iets in de grootte-orde van 10^2 per seconde. Beide scintillatorplaten samen leveren dus een grote hoeveelheid data. We zijn echter alleen geïnteresseerd in het optreden van een shower, waarbij de beide scintillatorplaten vrijwel tegelijkertijd muonen detecteren. Als de beide scintillatorplaten binnen een ingestelde, zeer korte tijdsduur Δt in de grootte-orde van 1 μs (10^{-6} s) een puls afgeven is sprake van *coïncidentie*. Voor het detecteren van dergelijke coïncidenties zorgt een elektronische schakeling die bestaat uit een tweetal comparators en een EN-poort, zoals weergegeven in figuur 1. Als deze schakeling een puls afgeeft is er sprake van de detectie van een coïncidentie – en dus *mogelijk* een shower. Alleen deze signalen worden met een oscilloscoopkaart in een computer vastgelegd. Het detectiestation met twee scintillatorplaten en een coïncidentieschakeling zorgt dus voor een aanzienlijke datareductie. De tijdsduur van ruwweg 1 μs als 'maat' voor het optreden van coïncidentie is gekozen omdat dit het verwachte, mogelijke tijdsverschil is waarmee de muonen in een shower op het aardoppervlak aankomen.

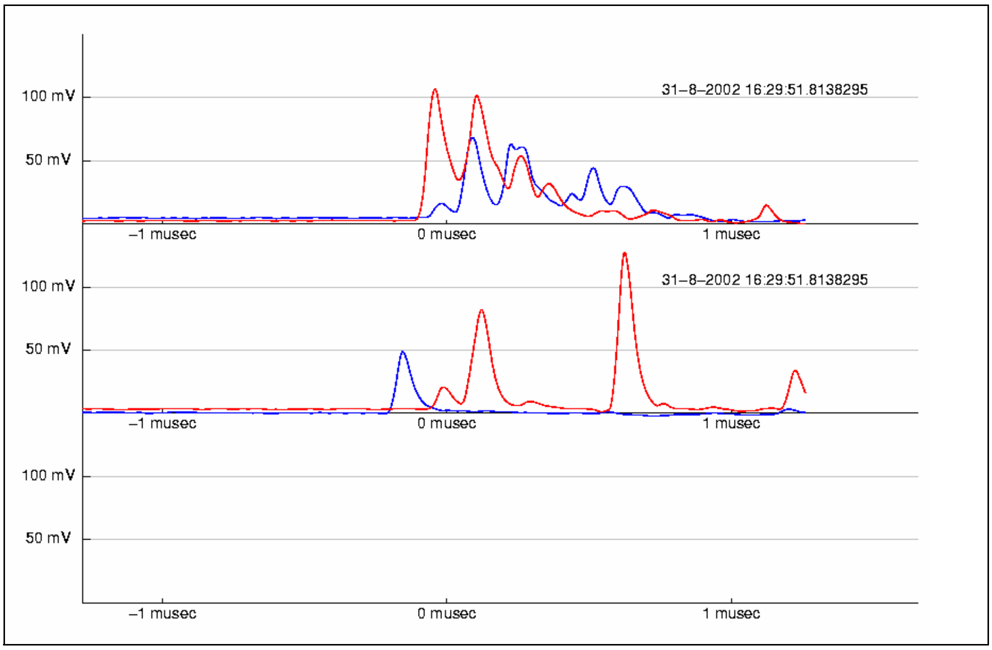
Een simulatie van de werking van een detectiestation met twee scintillatorplaten en een coïncidentieschakeling is te vinden op:
> http://www.hisparc.nl/detector.php



Figuur 1 – Schematische weergave van het detectiestation met de twee detectors en de verwerkings-elektronica.

Als een detectiestation een coïncidentiesignaal geeft, is er *mogelijk* sprake van een echt grote airshower veroorzaakt door de inslag van een hoogenergetisch kosmisch deeltje in de atmosfeer. Het kan echter ook gaan om een mini-shower, veroorzaakt door de inslag van een veel vaker voorkomend kosmisch deeltje met een lagere energie. Of er inderdaad sprake is van een echt grote airshower hangt af van de vraag of de andere detectiestations in de nabije omgeving op dat moment ook een coïncidentie detecteren (zie 2.3 Airshowers). Om de coïncidentiesignalen van de verschillende detectiestations in het netwerk te kunnen correleren, moet iedere meting van een exact tijdstip worden voorzien. Dit gebeurt met het kloksignaal van het Global Positioning System (GPS) dat een nauwkeurigheid van 100 ns

(10^{-7} s) heeft. Bovendien geeft het GPS een nauwkeurige positie van het detectiestation. Daarna worden de data vanuit de lokale computer via internet naar een centrale computer gestuurd. Daar worden de data van de afzonderlijke detectiestations in het netwerk gecombineerd en doorzocht op gelijktijdig optredende signalen – dat wil zeggen: signalen van verschillende detectiestations binnen enkele μs tijdverschil. Alleen bij een dergelijke coïncidentie van signalen van verschillende detectiestations is sprake van een echt grote airshower, veroorzaakt door de inslag van een hoogenergetisch deeltje. Een voorbeeld van zo'n coïncidentie tussen twee detectiestations is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 – Signaal van een coïncidentie op twee detectiestations zoals waargenomen in het HiSPARC-cluster Nijmegen: het oscilloscoopsignaal van de beide scintillatorplaten (in rood en blauw) voor elk van de twee detectiestations. Het diagram geeft de pulshoogte in mV (verticaal) als functie van de tijd in μs (horizontaal). De structuur die hier zichtbaar is vraagt om nadere bestudering, want een 'normale' gebeurtenis van een enkel station zou netjes een enkel piekje in beide platen moeten laten zien.

Toevallige coïncidenties – Ook als er geen sprake is van een shower kunnen de beide scintillatorplaten van een detectiestation toevallig vrijwel tegelijkertijd worden getroffen door muonen. Het detectiestation geeft dan een 'valse' melding van een mogelijke shower. De vraag is dan hoe groot de kans is op een dergelijke *toevallige* coïncidentie.

1 De telsnelheid van toevallige coïncidenties is in theorie te bepalen. Neem aan dat de telsnelheid van de scintillatorplaten A en B respectievelijk f_A en f_B is. Deze symbolen staan dus voor het aantal pulsen dat een scintillatorplaat per seconde afgeeft.

- Hoe vaak komt het voor dat B een puls geeft binnen een tijdsduur Δt nadat A een puls heeft gegeven? Laat met een redenering zien dat de telsnelheid van dit proces wordt gegeven door $f_{BnaA} = f_A \cdot f_B \cdot \Delta t$.
- Natuurlijk doet ook het omgekeerde proces zich voor: A geeft een puls binnen een tijdsduur Δt nadat B een puls heeft gegeven. Wat is de telsnelheid f_{AnaB} van dit proces?
- Wat is nu in theorie de formule voor de telsnelheid f_t van toevallige coïncidenties?
- Eerder is gezegd dat de grootte-orde van de telsnelheid f_A of f_B van een scintillator-plaat 10^2 Hz is, en dat voor de grootte-orde van de ingestelde tijdsduur Δt als maat voor coïncidentie 1 μs is gekozen. Wat is dan de grootte-orde van de telsnelheid f_t van toevallige coïncidenties?

Echte coïncidenties – De telsnelheden f_A en f_B van de beide scintillatorplaten zijn te meten, evenals de tijdsduur Δt die in de coïncidentieschakeling is ingesteld. Die metingen leveren de telsnelheid f_t van toevallige coïncidenties. Deze telsnelheid f_t is nodig om de gemeten telsnelheid f_m van coïncidenties te kunnen corrigeren tot de telsnelheid f_e van echte coïncidenties – en dus mogelijke showers.

2 Bedenk hoe je de telsnelheid f_e van echte coïncidenties kunt meten. Maak een *werkplan*

voor een dergelijk onderzoek en voer dat onderzoek uit. Zet daarbij de twee scintillatorplaten op een afstand van zo'n 2 m uit elkaar.
Houd tijdens dit deel van het onderzoek een logboek bij. Schrijf na afloop van deze werkzaamheden met behulp van dit logboek een verslag.

3 Voor het bepalen van de telsnelheid f_e van echte coïncidenties moet de gemeten telsnelheid f_m van coïncidenties gecorrigeerd worden voor de telsnelheid f_t van toevallige coïncidenties. Deze beide grootheden (f_m en f_t) worden indirect gemeten door het tellen van coïncidenties resp. detecties gedurende een bepaalde tijdsduur. Het meetresultaat is dan een aantal coïncidenties N_m tussen beide detectors in een tijdsduur van bijvoorbeeld een uur, en een aantal detecties N_A resp. N_B voor de afzonderlijke detectors in een tijdsduur van bijvoorbeeld een minuut. Hierbij zal echter sprake zijn van statistische fluctuaties, zodat de absolute onzekerheid in de gemeten waarde N gelijk is aan $\sqrt{N}$ en de relatieve onzekerheid gegeven wordt door $1/\sqrt{N}$ (zie 3.3 Detector testen).

- Bepaal de onzekerheid in de gemeten telsnelheid f_m van coïncidenties en in de telsnelheid f_t van toevallige coïncidenties bij opdracht 2. Ga daarbij uit van de statistische onzekerheid in de gemeten waarden van N_m, N_A en N_B. Ga er daarbij verder van uit dat de meetonzekerheid in de tijdsduur verwaarloosbaar klein is ten opzichte van deze statistische meetonzekerheid. En ten slotte: gebruik de rekenregels uit het kader hieronder.
- De telsnelheid f_e van echte coïncidenties is het verschil tussen f_m en f_t. Bepaal de onzekerheid in de telsnelheid f_e van echte coïncidenties bij opdracht 2.

Rekenregels
Voor het rekenen met statistische meetonzekerheden bestaat een aantal rekenregels. De rekenregels die je nodig hebt bij opdracht 3 zijn de volgende:

- De absolute onzekerheid in de uitkomst van de som of het verschil van twee (of meer) grootheden is gelijk aan de wortel van de som van de kwadraten van de absolute onzekerheden in de afzonderlijke grootheden.
Voorbeeld: $c = a + b$ of $c = a - b \rightarrow \Delta c = \sqrt{((\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)}$.
- De relatieve onzekerheid in de uitkomst van het product of het quotiënt van twee (of meer) grootheden is gelijk aan de wortel van de som van de kwadraten van de relatieve onzekerheden in de afzonderlijke grootheden.
Voorbeeld: $c = a \cdot b$ of $c = a/b \rightarrow \Delta c/c = \sqrt{((\Delta a/a)^2 + (\Delta b/b)^2)}$.
- Voor de statistische meetonzekerheid in een aantal van N detecties geldt: $\Delta N = \sqrt{N}$ en $\Delta N/N = 1/\sqrt{N}$.

Voorbeeldmetingen – Als je zelf dit soort metingen voor het bepalen van de telsnelheid van echte coïncidenties niet uitvoert, geef dan antwoord op de vragen 2 en 3 met behulp van de metingen uit de tabel hieronder. Deze metingen zijn gedaan door een van de groepen leerlingen die eerder aan het project hebben meegedaan. In deze tabel zijn N_A en N_B de aantallen detecties van de afzonderlijke detectors over een meettijd van 1 minuut, en is N_m het aantal gemeten coïncidenties tussen de beide detectors over een meettijd van 1 uur.

detectiestation	N_A (min^{-1})	N_B (min^{-1})	N_m (h^{-1})
BBL, UU	5702	5339	580

Meer informatie over de statistiek en kansberekening achter toevallige en niet toevallige coïncidenties is te vinden op de website van het HiSPARC-cluster Nijmegen:
\> http://hisparc.hef.kun.nl > leerlingprojecten > statistiek