

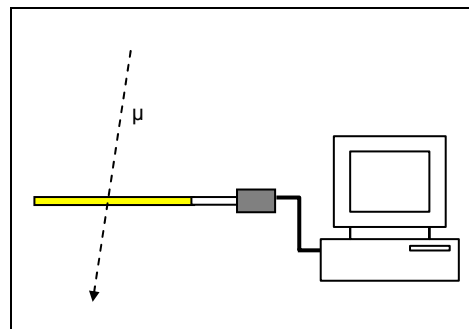
Detectie van kosmische straling

3.3 Detector testen

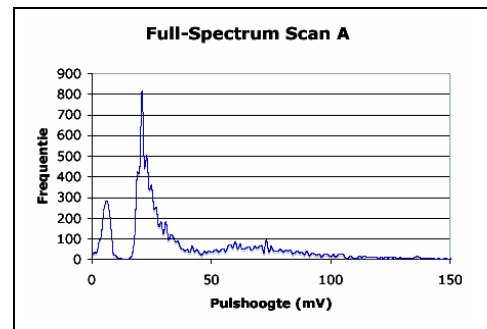
Na het bouwen en controleren van de detector moet deze worden getest. Het testen van een detector omvat de volgende twee werkzaamheden:

- Instellen van de hoogspanning voor de fotoversterkerbuis.
- Meten van de efficiëntie van de detector en controleren van de eventuele plaatsafhankelijkheid daarvan.

PMT-hoogspanning – Voor het instellen van de hoogspanning voor de fotoversterkerbuis (PMT) wordt de in figuur 1 weergegeven opstelling gebruikt: de detector is rechtstreeks aangesloten op de computer voor registratie en verwerking van het detectorsignaal. De met het meetprogramma verzamelde data kunnen in Excel worden weergegeven in de vorm van een pulshoogte-histogram, zoals bijvoorbeeld dat van figuur 2. In zo'n histogram staat horizontaal de pulshoogte, en verticaal het aantal keren dat een dergelijke pulshoogte is gemeten. Een dergelijk pulshoogte-histogram wordt ook wel het *energiespectrum* van de invallende muonen genoemd. In dat energiespectrum is de Landau-verdeling van het energieverlies ΔE over een groot aantal muonen zichtbaar (zie 3.1 Detector).



Figuur 1 – Meetopstelling voor het afregelen van de hoogspanning over de PMT. Een eerste ruwe afregeling is te doen door het detectorsignaal op het scoopscherm te bekijken.



Figuur 2 – Voorbeeld van de weergave van de door het meetprogramma verzamelde data van een scintillatorplaat in een pulshoogte-histogram (of het energiespectrum).

- 1 In het energiespectrum (of pulshoogte-histogram) van figuur 2 zijn drie toppen zichtbaar.
 - Welke van die drie toppen is de top van de Landau-verdeling voor muonen?
 - De beide andere toppen worden niet veroorzaakt door muonen. Maar waardoor dan wel?
- 2 Het energiespectrum van figuur 2 is gemeten bij een bepaalde waarde van de hoogspanning over de PMT gedurende een bepaalde tijdsduur.
 - Hoe zal het gemeten energiespectrum veranderen als de hoogspanning over de PMT op een grotere of kleinere waarde wordt ingesteld?
 - Hoe zal het gemeten energiespectrum veranderen als de meettijd op een grotere of kleinere waarde wordt ingesteld?

De hoogspanning voor de fotoversterkerbuis (PMT) bepaalt de spanning van de uitgangspuls bij detectie van een muon: hoe groter de hoogspanning is, des te groter is de spanning van de uitgangspuls. Echter, te hoge waarden van de uitgangspulsen veroorzaken slijtage van de PMT. Daarnaast kan in de PMT verzadiging optreden, zodat de spanning van de uitgangspuls niet meer maatgevend is voor het op de PMT invallende aantal fotonen en dus ook niet meer maatgevend is voor het energieverlies van een passerend muon. Aan de andere kant zullen te lage waarden van de uitgangspulsen verdrinken in de ruis die de PMT altijd genereert.

Een uitgangspuls met een spanning van zo'n 60 tot 70 mV lijkt een redelijke waarde. Daarbij hebben we het dan over de ligging van de piek in de Landau-verdeling voor muonen. In figuur 2 is te zien dat deze piek inderdaad bij de gewenste waarde van de uitgangsspanning

ligt. Om dat te bereiken moet de hoogspanning voor de PMT wel experimenteel op de juiste waarde worden ingesteld. En dat moet dan overigens voor alle detectoren afzonderlijk gebeuren, omdat de fotoversterkerbuizen van elkaar verschillen wat betreft het verband tussen de versterkingsfactor en de waarde van de hoogspanning.

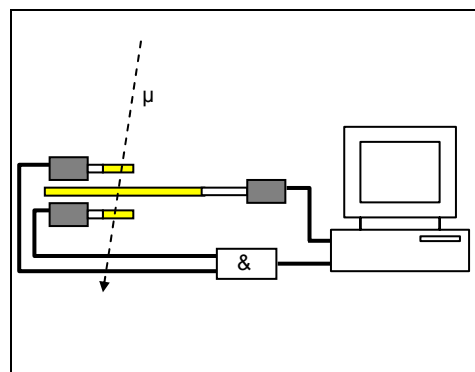
De hoogspanning voor de PMT is in te stellen met het HiSPARC meetkastje. In dit meetkastje zit een laagspanningsbron van ruwweg 15 V. Met een potmeter is deze spanning op een lagere waarde in te stellen. Deze ingestelde laagspanning wordt door een schakeling in de voet van de PMT met een factor 1000 versterkt. De waarde van deze versterkte spanning is in een venster op het meetkastje af te lezen.

Het pulshoogte-histogram wordt gemeten met de computer. Voorafgaand aan een dergelijke meting moet het meetprogramma worden ingesteld. Deze instelling heeft betrekking op het aantal metingen dat moet worden gedaan, de hoogte van de drempelwaarde en de resolutie van het histogram. Wat betreft het aantal metingen dat het meetprogramma moet uitvoeren is sprake van een te maken afweging: hoe groter het ingestelde aantal metingen is, des te beter geeft het pulshoogte-histogram de Landau-verdeling weer – maar des te langer duurt het meten. Er moet dus worden gezocht naar een instelling van het meetprogramma waarbij het pulshoogte-histogram er goed uitziet (in overeenstemming met wat theoretisch te verwachten is) bij een aanvaardbare meettijd. Met het instellen van de drempelwaarde kan de ruis uit het pulshoogte-histogram worden gefilterd. Uitgangspulsen met een spanning kleiner dan deze drempelwaarde worden dan genegeerd. Met het instellen van de resolutie bepaal je ten slotte de grootte van de spanningsgebieden waarin het meetprogramma de gemeten uitgangspulsen indeelt.

- 3 Bedenk hoe je de hoogspanning voor de PMT van een detector op de juiste waarde kunt instellen. Maak een *werkplan* voor een dergelijk onderzoek en voer dat onderzoek uit. Houd tijdens dit deel van het onderzoek een logboek bij. Schrijf na afloop van deze werkzaamheden met behulp van dit logboek een verslag.

Detectorefficiëntie – Als bekend is op welke waarde de PMT-hoogspanning en op welke waarden het aantal metingen, de drempelwaarde en de resolutie in het meetprogramma moeten worden ingesteld, kan de efficiëntie van de detector worden gemeten.

Voor het meten van de efficiëntie van de detector en het controleren van de eventuele plaatsafhankelijkheid daarvan wordt de in figuur 3 weergegeven opstelling gebruikt: een tweetal kleine detectoren boven en onder de grote detector. De twee kleine detectoren worden elk via een comparator aangesloten op een en-poort. Dit systeem vormt een *muonenteller*: als beide kleine detectoren tegelijkertijd een puls geven, moet er sprake zijn van een passerend muon. In dat geval 'kijkt' het meetprogramma of ook de grote detector een puls geeft en registreert de pulshoogte (de spanning van het PMT-sigitaal).



Figuur 3 – Meetopstelling voor bepaling van de detectorefficiëntie en de eventuele plaatsafhankelijkheid daarvan met behulp van een muonenteller in de vorm van een tweetal kleine detectors.



Figuur 4 – Ruwe afregeling van de PMT-hoogspanning met behulp van het signaal op het scoopscherm. Op de achtergrond de apparatuur voor meting van de detectorefficiëntie.

- 4 Bedenk hoe je de detectorefficiëntie zou definiëren, hoe je deze kunt meten en hoe je de plaatsafhankelijkheid daarvan kunt onderzoeken. Maak een *werkplan* voor een dergelijk onderzoek en voer dat onderzoek uit. Houd tijdens dit deel van het onderzoek een logboek bij. Schrijf na afloop van deze werkzaamheden met behulp van dit logboek een verslag. Verwerk in dat verslag ook de (absolute) onzekerheid in de gemeten detectorefficiëntie met behulp van de onder-

staande informatie en opdrachten.

De detectorefficiëntie ϵ is te definiëren als $\epsilon = N_m/N_\mu$. In deze definitie wordt het aantal gemeten muonen N_m vergeleken met het aantal passerende muonen N_μ . Het aantal gemeten muonen N_m is uit het pulshoogte-histogram te bepalen, het aantal passerende muonen N_μ zoals gemeten door de muonenteller heb je zelf in het meetprogramma ingesteld.

De detectorefficiëntie kan afhangen van de plaats op de detector. Verder hangt deze grootte af van de instellingen van de PMT en van de elektronica waarmee de signalen van de muonenteller en de detector worden verwerkt.

- 5 Bepaal de detectorefficiëntie voor elk van de verschillende meetplaatsen op de detector. Is er sprake van een plaatsafhankelijke efficiëntie? Leg uit waarom wel of niet.

In eerste instantie lijkt het erop dat de detectorefficiëntie plaatsafhankelijk is: het aantal gemeten muonen N_m varieert enigszins met de plaats op de detector (bij steeds eenzelfde ingestelde waarde van het aantal passerende muonen N_μ). Maar is dit echt zo? Er kan ook sprake zijn van een statistische fluctuatie omdat we zo weinig metingen doen. In dit geval leert de statistiek ons dat als we N muonen geteld hebben de meetonzekerheid hierin \sqrt{N} is. Of, nauwkeuriger gezegd: er is een kans van 67 % dat de echte waarde ligt tussen $N - \sqrt{N}$ en $N + \sqrt{N}$. Bij een telresultaat van bijvoorbeeld 900 muonen ($N_m = 900$) bedraagt de meetonzekerheid 30 ($\sqrt{N_m} = \sqrt{900} = 30$), zodat er 67 % kans is dat de echte waarde tussen 870 en 930 ligt.

- 6 Bepaal de onzekerheid in de gemeten detectorefficiëntie voor elk van de verschillende meetplaatsen op de detector. Is er sprake van een plaatsafhankelijke efficiëntie? Leg uit waarom of wel niet.

De onzekerheid in het telresultaat is te verkleinen (en de nauwkeurigheid dus te vergroten) door een groter aantal metingen te doen – maar dat vraagt een langere meettijd. We kunnen de nauwkeurigheid ook vergroten door de metingen op de verschillende plaatsen op de detector bij elkaar te nemen. Daarmee bepalen we dan een gemiddelde detectorefficiëntie.

- 7 Bij een telresultaat van N muonen is de onzekerheid \sqrt{N} . Laat zien dat de relatieve onzekerheid dan gegeven wordt door $1/\sqrt{N}$. Leg daarmee uit dat een langere meettijd tot een grotere nauwkeurigheid van de gemeten detectorefficiëntie leidt.
- 8 Bepaal uit alle metingen aan de detector de gemiddelde detectorefficiëntie met de onzekerheid (zowel absoluut als relatief) daarin.

Voorbeeldmetingen – Als je zelf dit soort metingen voor het testen van een detector niet uitvoert, geef dan antwoord op de vragen 5, 6 en 8 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 is N_μ het aantal door de muonenteller getelde muonen en N_m het aantal door de scintillator gedetecteerde muonen.

meetplaats	N_μ	N_m
1	1000	972
2	999	952
3	1091	1050
4	999	978
5	999	972
6	1000	958
7	1001	952

