



# **Muonlab Software Documentatie**

*Release 2.0*

**Marcel Vreeswijk, Aartjan van Pelt**

September 19, 2012



# CONTENTS



U kunt het software installatiepakket downloaden: [Muonlab II](#)

U kunt een pdf-versie van deze handleiding downloaden: [handleiding](#)

Voor meer informatie over kosmische straling, zie <http://www.hisparc.nl/over-hisparc/kosmische-lawines/>



# INTRODUCTIE

Dit onderzoek bestaat uit meerdere delen.

- Bij de eerste activiteit, *Detecteren van kosmische straling*, onderzoek je de werking van de meetopstelling.
- Bij de tweede activiteit, *Metingen aan muonen met twee detectoren*, ga je meten met twee detectoren en meet de looptijd van kosmische deeltjes; door de lucht en door de scintillator.
- Bij de derde activiteit, *Metten met één detector: muon verval*, meet je met één detector en onderzoekt het verval van de instabiele muonen.

Daarna is er verdieping, *De muon paradox*, mogelijk om meer te weten te komen over het ontstaan van muonen en over de muon paradox.





# DETECTEREN VAN KOSMISCHE STRALING

## 2.1 Werking van scintillator en PMT

Kosmische straling wordt zichtbaar gemaakt in een “scintillator”. Kosmische deeltjes brengen atomen in het scintillatormateriaal in een aangeslagen toestand waarna deze atomen zichtbaar licht uitzenden. Het uitgezonden licht is zeer zwak en volstrekt verwaarloosbaar ten opzichte van daglicht of lamplicht zodat de scintillator zorgvuldig lichtdicht ingepakt is. Het zwakke licht dat ontstaat is sterk genoeg om een klein aantal elektronen vrij te maken uit een metaal. In een fotoversterker (PhotoMultiplier of PMT in het Engels) wordt het kleine aantal elektronen vergroot tot ordegrrootte honderdduizend waardoor een meetbare spanning ontstaat. Deze spanning is het signaal dat naar de computer gaat. Wanneer de opstelling goed werkt levert elk kosmische deeltje een spanningspuls. De PMT geeft ook wel toevallige signalen af die niets met kosmische straling te maken hebben. Je kunt er voor zorgen dat je kosmische straling meet en geen ruis door alleen gecorreleerde pulsen te tellen. Hoe dat in zijn werk gaat, blijkt gaandeweg het experiment.

---

**Note:** De detector bestaat uit:

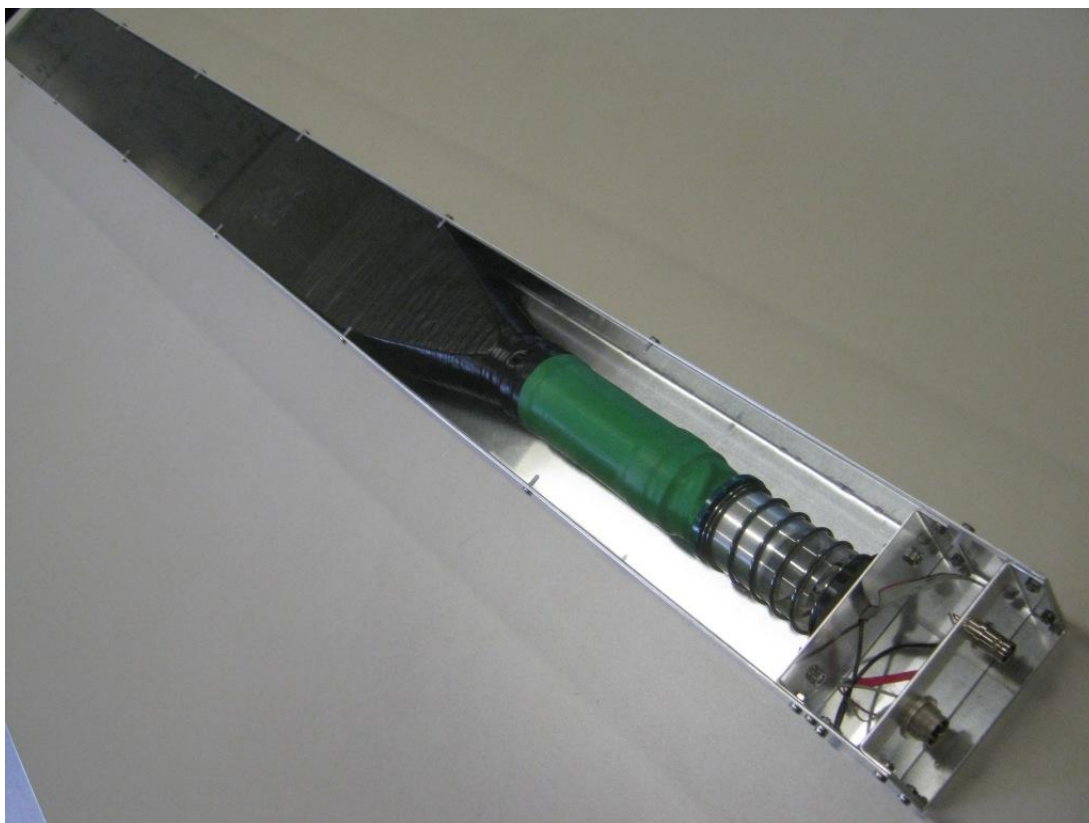
---

- Een scintillator (links)
- Een fotomultiplier (afgekort: PMT)
- Twee aansluitingen: Één voor het signaal en één voor de voeding van de PMT (beide rechts).

## 2.2 Gebruik van muonlab en software

### 2.2.1 Materiaal

- Twee muonbalken met elk twee kabels: Een BMC-kabel voor het signaal (zwart), en een kabel voor de spanning van de PMT (grijs).
- Muonlab II met een usb-kabel
- Computer waarop het meetprogramma *muonlab II* is geïnstalleerd.



## 2.2.2 Meetmethode en gebruik van software

Controleer of usbkabel van het muonlab is aangesloten op de computer voordat je de software opstart. Zet de computer aan en start het programma muonlab-II. Controleer ook of de twee kabels van de sensor (muonbalk) zijn aangesloten op één kanaal van het meetkastje (muonlab-II).

Het menu van het programma muonlab-II

*Bovenste knop van het menu:* Het muonlab moet nog door de computer herkend worden. Dat kan door op te zoeken welke COM-poort de computer heeft toegekend aan de USB. -> Configuratiescherm -> Systeem -> Hardware -> Apparaatbeheer -> Poorten Je ziet dan welke Com-poort is toegekend en selecteert deze bovenin het menu.

*Tweede knop.* Telkens wanneer je een meting start wordt de data weggeschreven naar file, wanneer je dit wilt. Je kunt dit uitzetten wanneer je bijvoorbeeld oriënterende metingen doet.

*Met de derde knop* kies je het soort experiment dat je gaat uitvoeren: \* Met twee detectoren (delta-time). \* Met één detector (Life-time) Voor het eerste onderzoek gebruik je de instelling: Delta-time.

*De vierde knop (PMT-setup)* dient om de fotomultiplier in te stellen, zodat je daadwerkelijk signaal binnenkrijgt. \* Input Threshold. Stel deze in op 0,020 Volt Een kleinere signaalwaarde maakt dat je eerder ruis meet zijn dan een serieus signaal. \* High Voltage Level. Kies om te beginnen een waarde van 750 Volt voor de fotomultiplier. Deze werkt dan nog niet optimaal maar in elk geval redelijk.

---

**Note:** Je wilt ongetwijfeld weten: **waarom** de drempelwaarde juist 0,020 Volt bedraagt en **waar** het optimum van de hoogspanning ligt. Onderzoek dit in overleg met je begeleider **nadat je oriënterende metingen hebt gedaan**.

---

*Met de vijfde knop* start je de meting.

MuonLab II

Select Com-port

COM 3

Save Data ON

LifeTime

PMT Setup

Start/Stop

Run Time (sec)

3557

Hit Counter

5208

Plot Zoom (ns)

2133

Plot Offset (ns)

0

Plot Color

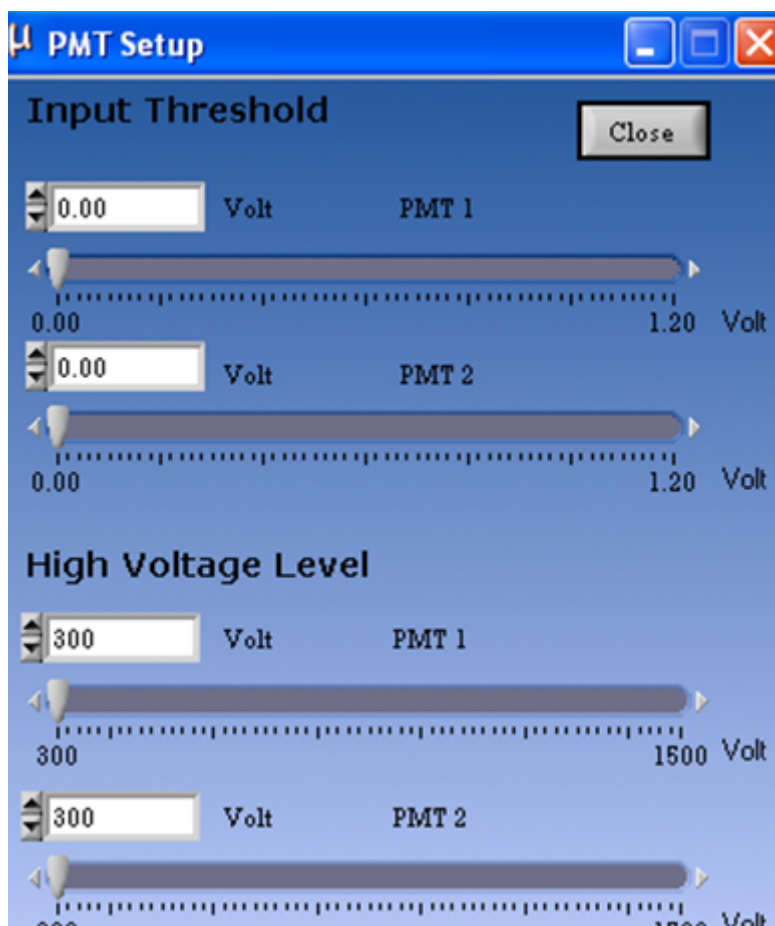
Curve Fit

Save Plot

Reset Plot

PMT 1 HV: 750 V

PMT 2 HV: 850 V



Wanneer alles goed is ingesteld verschijnen nu in de tellers: \* Het aantal seconden dat gemeten wordt \*  
Het aantal detecties door beide muonbalken.

Een signaal wordt alleen geteld wanneer **door beide detectoren, kort na elkaar**, een signaal wordt waargenomen.

Na enkele minuten heb je al heel wat kosmische deeltjes geteld als het goed is.

---

**Note:** LET OP : Maak de spanning van de fotomultiplier nooit groter dan 1000V anders raakt dit kwetsbare onderdeel van de detector beschadigd.

---

---

**Note:** LET OP : Voor deze oriënterende metingen is het belangrijk dat beide detectoren op elkaar liggen zodat beide balken hetzelfde deeltje zien.

---

## 2.3 Oriënterende metingen en opdrachten

Voer oriënterende metingen uit door beide muonbalken in verschillende posities neer te leggen en het aantal detecties per seconde te noteren. \* Begin met beide detectoren op elkaar \* Verschuif de detectoren vervolgens of leg ze op een grote afstand van elkaar.

---

**Note:** Waarom neemt het aantal detecties sterk af wanneer je de muonbalken van elkaar verwijdert?

---

---

**Note:** Hoe groot is het maximaal aantal deeltjes/sec dat je hebt waargenomen? Is de meting reproduceerbaar?

---

---

**Note:** Uit welke richting verwacht je dat de meeste kosmische straling komt? Kun je nu een uitspraak doen over het aantal deeltjes per m<sup>2</sup> per seconde dat vanuit de kosmos het aardoppervlak bereikt?

---

---

**Note:** Bekijk de muonbalk goed en maak een schatting voor de afmetingen van de scintillator. (Een van de muonbalken heeft een doorzichtige bovenkant zodat je goed kunt zien hoe de scintillator en de PMT er uitzien).

---

---

**Note:** De afmetingen van de scintillator in de lange muonbalk zijn: 115cm x 9,0cm x 5,0cm. Bereken met deze gegevens het aantal kosmische deeltjes per m<sup>2</sup> per seconde dat het aardoppervlak bereikt. Ga er voorlopig vanuit dat de kosmische straling loodrecht van boven komt.

---

### 2.3.1 Conclusies bij opdracht 1

Wanneer je voldoende oriënterende metingen hebt verricht. Kun je antwoord geven op de volgende vragen. \* Wat is de functie van de scintillator en op welke manier reageert deze op kosmische straling? Waarom is de scintillator zorgvuldig ingepakt? \* Waar komt kosmische straling vandaan. Uit welke richtingen? \* Kan de kosmische straling makkelijk muren daken en bouw materiaal gaan? \* Is het mogelijk dat de deeltjes die wij meten elektronen zijn? \* Is het mogelijk dat de scintillator reageert op bijvoorbeeld gamma straling? en is het aannemelijk dat er veel gammastraling aanwezig is rond de detector?

Voor het vervolgonderzoek gaan we er vanuit dat de detector voornamelijk muonen meet. Daarom is het belangrijk de bovenstaande vragen met je begeleider te bespreken.

### 2.3.2 Vooruitblik

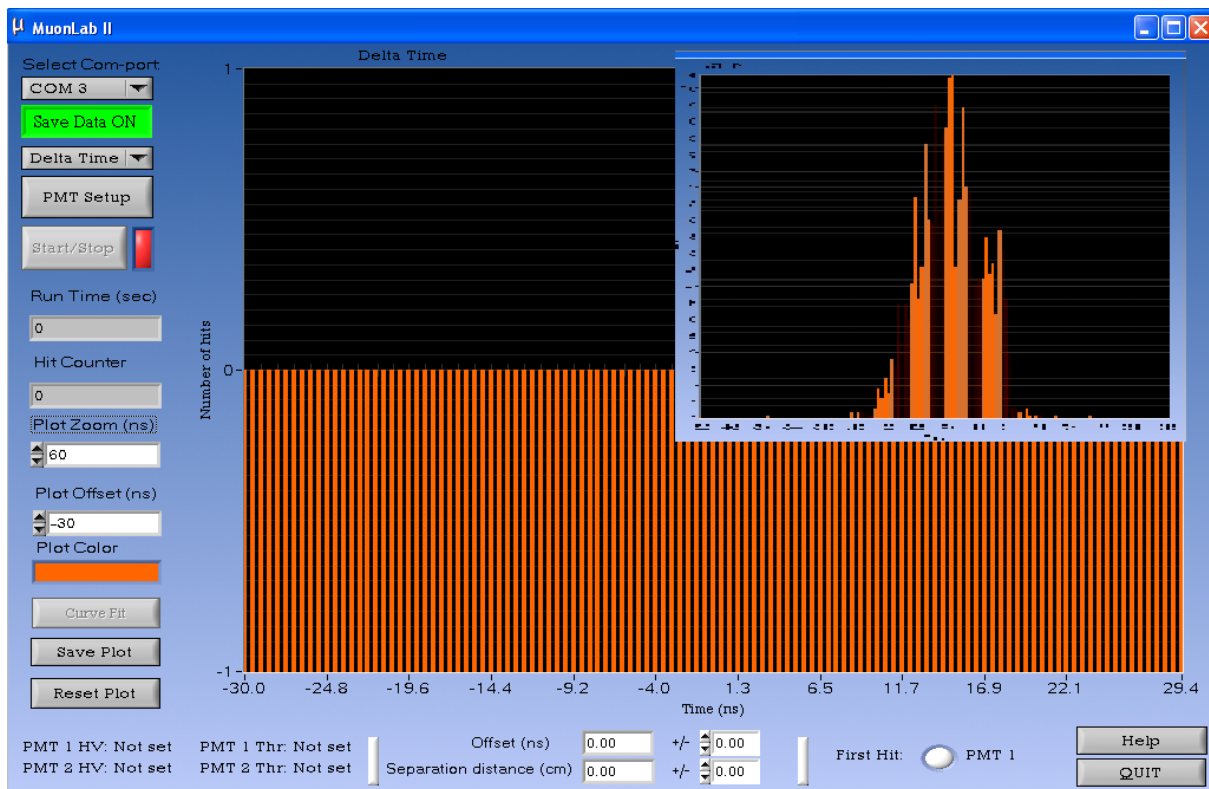
In het volgende deel van het onderzoek komt de volgende vraag aan bod: \* Wat is er precies te zien in het diagram? Wat staat er op de x-as en wat betekenen de twee instellingen voor de meting *Delta-Time* en *Life-time*



# METINGEN AAN MUONEN MET TWEE DETECTOREN

## 3.1 Het histogram

In dit experiment voeren we een meting uit met twee muonbalken. Kies voor een Delta Time instelling (derde knop). Het scherm hieronder is het startscherm. De meting is dan nog niet begonnen. In de inzet kun je zien hoe na enkele minuten meten een histogram ontstaat.



De x-as van het diagram geeft een tijdverschil weer in ns (nanoseconden !) Dit is de looptijd van het muon (De tijd die het muon nodig heeft om van balk1 naar balk2 te reizen of omgekeerd).

### 3.1.1 positieve en negatieve looptijden

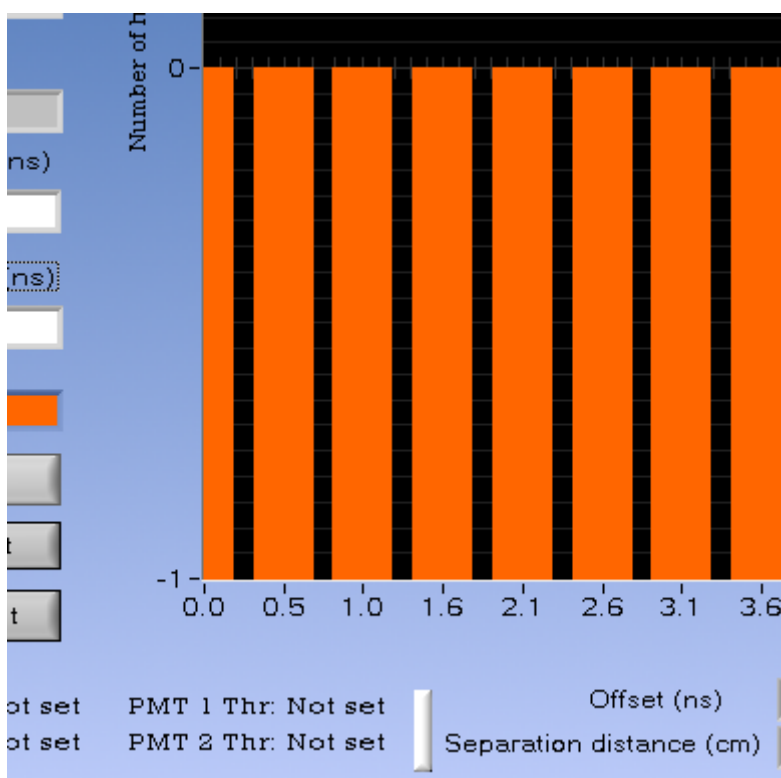
Tijdens de meting komen zowel positieve als negatieve looptijden voor. Wanneer de balken boven op elkaar liggen geeft soms de bovenste balk als eerste een signaal, en soms de onderste muonbalk. Het is goed om hierbij stil te staan.

**Note:** Muonen komen niet uit het aardoppervlak. Je zult een andere verklaring moeten zoeken wanneer de onderste muonbalk als eerste een signaal afgeeft. Onderzoek dit en overleg met collega studenten of met je begeleider wat hiervoor een verklaring kan zijn.

Op de y-as staat het aantal keren dat een looptijd geregistreerd wordt. In de figuur hierboven staan alle looptijden nog op 0. Er is immers nog geen muon gemeten.

### 3.1.2 de bingrootte

Wanneer je een klein bereik kiest voor de x-as (inzoomen) kun je zien dat de breedte van de categorieën 0,5 ns bedraagt! De looptijden kunnen dus met een grote nauwkeurigheid in kaart worden gebracht. Het is gebruikelijk de categorieën in een histogram “bins” te noemen.



## 3.2 Metingen en opdrachten bij onderzoek 2

Voer bij deze opdracht kwantitatieve metingen uit zodat je de een verband kunt onderzoeken tussen verschillende grootheden.

- Varieer systematisch de afstand tussen de muonbalken variëren en kijkt dan wat er gebeurt.



---

**Note:** Wat is het verband tussen de hitrate (=aantal muonen/sec dat door beide balken gaat), en de afstand tussen de balken?

---

---

**Note:** Wat is het verband tussen de gemiddelde looptijd en de afstand tussen de muonbalken?

---

---

**Note:** Wat is het verband tussen de spreiding in looptijden en de afstand tussen de muonbalken?

---

Behalve de afstand, kun je ook de oriëntatie van de muonbalken variëren. \* Draai de muonbalken onder verschillende hoeken terwijl ze boven op elkaar liggen. Meet telkens gedurende enkele minuten. \* Draai de muonbalken onder verschillende hoeken terwijl ze enkele decimeters of meters boven elkaar gepositioneerd zijn. Meet telkens gedurende enkele minuten. \* Leg de muonbalken op verschillende afstanden in een horizontaal vlak en onderzoek of er nog steeds muonen door beide balken gaan.

---

**Note:** Uit welke richtingen komen muonen naar het aardoppervlak? Kun je dat uit je metingen afleiden? Voer desgewenst extra metingen uit.

---

### 3.3 Interpretatie van de metingen

Wanneer je voldoende oriënterende metingen hebt verricht. Kun je antwoord geven op de volgende vragen. \* Waarom zijn negatieve looptijden mogelijk (de onderste muonbalk wordt eerder dan de bovenste muonbalk)?

---

**Note:** Wanneer je nog geen antwoord hebt kunnen vinden op de bovenste vraag, sluit dan een verlengkabel aan op één der BMC-kabels en kijk wat er gebeurt met de gemiddelde waarde van de looptijd. Misschien brengt je dat op een idee wat betreft signaalvertragingen.

---

- Welke informatie geeft de gemiddelde looptijd van muonen je?
- Welke informatie geeft de spreiding in looptijden bij een meting?
- Wat is de snelheid van een muon in lucht ongeveer? Wat is de snelheid van het signaal door de kabels in de meetopstelling?
- Onder welke hoeken komen muonen naar het aardoppervlak? Kun je dat uit je metingen afleiden.

#### 3.3.1 Vooruitblik

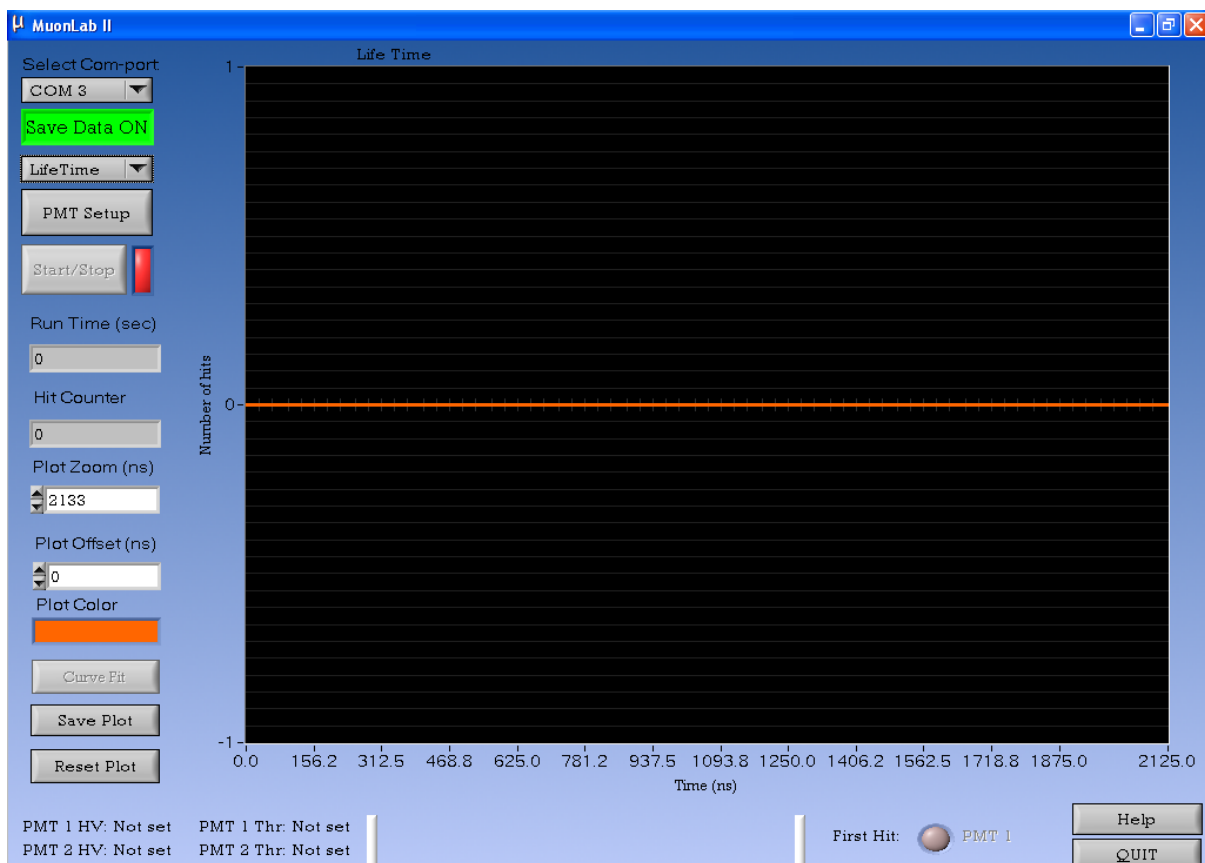
In het volgende deel van het onderzoek komt de volgende vraag aan bod: \* Hoe kun je met deze opstelling de levensduur ofwel de vervaltijd van muonen bepalen? \* Hoe kom je er achter dat je werkelijk muonen meet en geen signalen ten gevolge van andere deeltjes of ruis?



# METEN MET ÉÉN DETECTOR: MUON VERVAL

## 4.1 Het histogram: tijden tot een paar duizend ns

In dit experiment voeren we een meting uit met één muonbalk. Kies voor een Lifetime instelling (derde knop). Het scherm hieronder is het startscherm. De meting is nog niet begonnen.



De x-as van het diagram geeft opnieuw een **tijdsverschil** aan in nanoseconden; terwijl er met één balk wordt gemeten. Het gaat nu om het tijdsverschil tussen binnenkomst en verval van een muon. Beide gebeurtenissen geven een signaal.

De waarden op de x-as zijn nu wel veel groter (de orde grootte is nu duizend ns ofwel een  $\mu\text{s}$  i.p.v. enkele ns). De gemiddelde leeftijd is voor een muon een stuk groter dan de reistijd om enkele dm's of meters

af te leggen in lucht.

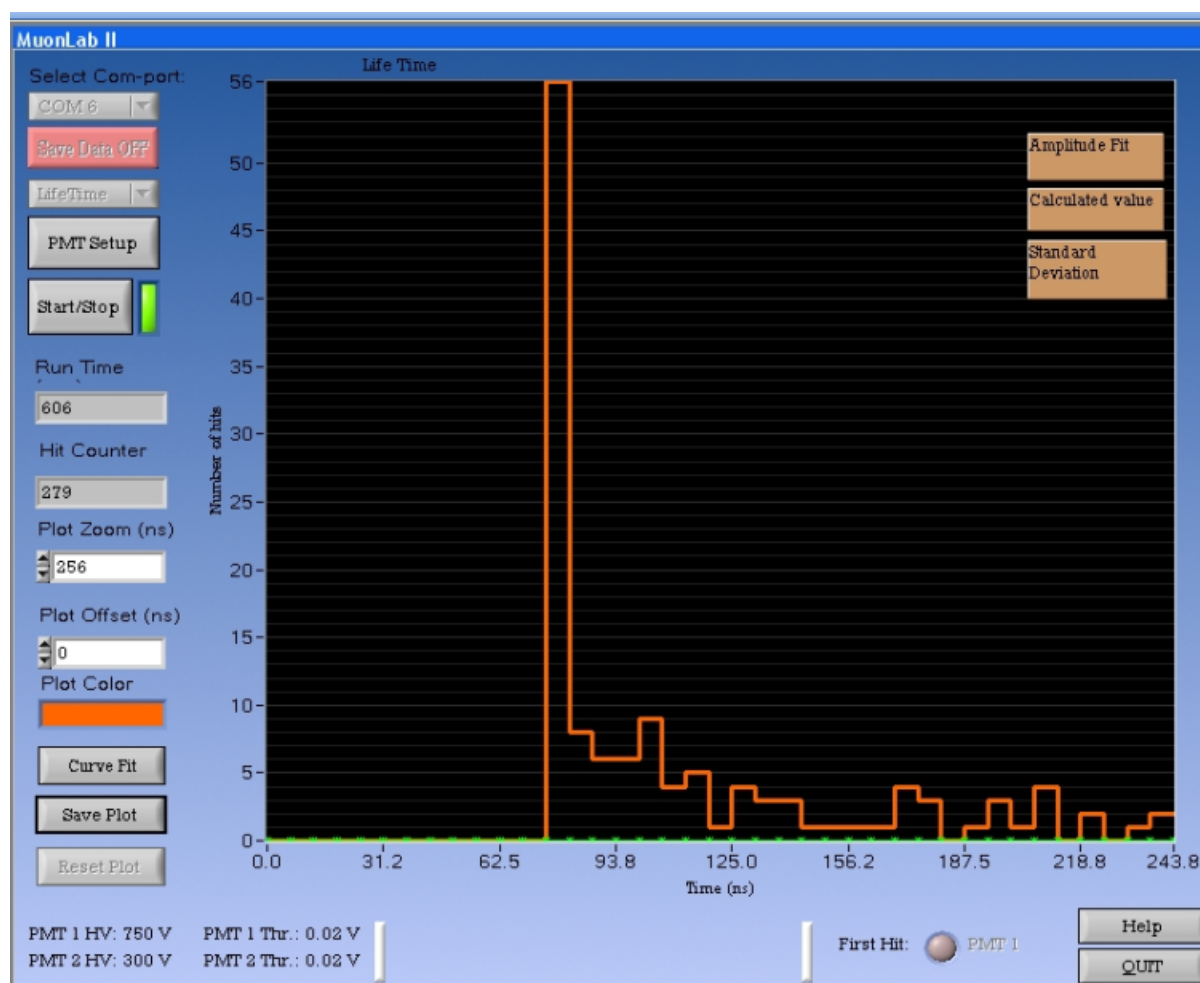
Op de y-as staat het aantal muonen dat vervalft na een bepaalde verblijftijd in de scintillator

**Note:** Je meet bij dit onderzoek de verblijftijd van een muon in de scintillator. Dat is de tijd tussen binnenkomst van een muon en diens verval. Verblijftijd is niet hetzelfde als leeftijd. De voorgeschiedenis van een muon (de tijd tussen ontstaan en aankomst bij de detector) is voor elk muon anders. Toch blijkt de verdeling van verblijftijden zeer goede informatie op te leveren over de gemiddelde levensduur, ofwel de vervalconstante (of de halveringstijd) van muonen. Bespreek dit met je begeleider.

Voer een oriënterende meting uit van enkele minuten. Je zult zien dat de hit-rate (het aantal detecties per seconde) nu veel lager is dan bij het onderzoek naar looptijden van muonen.

Schaling van de x-as (Plot Zoom en Plot Offset). Let op het onderstaande: \* Het diagram schaaft automatisch. De hoogste waarde in het histogram bepaalt de schaal van de grafiek. \* Voor kleine waarden van de tijd kan een grote piek ontstaan. Dat komt door de meetapparatuur. Kort na een puls ontstaat vaak een tweede door reflecties. Het muon lijkt dan na zeer korte tijd te vervallen. Dat is geen reële meting. \* Stel de Plot Offset daarom in op ongeveer 100ns.

**Note:** In de figuur hieronder is ingezoomd op dit effect. De uitschieter rond de 75 ns is geen reële meting voor de vervalftijd van muonen.



**Note:** Wanneer je zeker weet dat de detector goed werkt, start dan een langdurige meting (minstens enkele uren).

---

**Note:** In het excel document bij deze handleiding staat gedetailleerde informatie over het verwerken van de data die door de software worden opgeslagen.

---

## 4.2 Interpretatie van de metingen

Wanneer je het derde onderzoek hebt afgerond kun je antwoord geven op de volgende vragen. \* Hoe kun je de halveringstijd bepalen uit een exponentieel dalende functie? \* Hoe is de muon levensduur gedefinieerd? Wat is de relatie tussen halveringstijd en levensduur van muonen? \* Welke metingen uit het histogram zijn ongeldig (hebben niets te maken met de verblijftijd van muonen in de scintillator)? Je kunt dat afleiden uit de vorm van de grafiek en een eventuele verplaatsing. \* Welke *verklaring* kun je geven voor het bestaan van ongewenste detecties (metingen kort na elkaar die niet horen bij een muon verval)? \* Hoe groot is de kans dat je een foutieve meting zult aantreffen? Is deze kans groter bij kleine tijdsintervallen dan bij grote tijdsintervallen?



# DE MUON PARADOX

## 5.1 Het ontstaan van muonen in de dampkring

Om de muon paradox goed te controleren is het nodig om metingen uit te voeren op twee locaties waarvan de hoogte in de dampkring enkele kilometers verschilt. In de (Nederlandse) praktijk is dat niet eenvoudig. Wanneer je metingen heel nauwkeurig verricht is misschien een hoogteverschil van enkele honderden meters al voldoende. Maar of dat realistisch is, dat is de vraag.

---

**Note:** Om de muon paradox te begrijpen moet je te weten hoe muonen ontstaan en waar ze ontstaan.

---

Er wordt algemeen aangenomen dat er veel muonen ontstaan op ongeveer 10km hoogte in de dampkring. Deze muonen ontstaan als reactieproduct bij een botsing van kosmische straling met dampkringmoleculen. Muonen ontstaan uiteraard in een groot gebied van hoogtes. Overleg met je over het ontstaan en verdwijnen van muonen in de dampkring. Het begrip “inversie” komt ook aan bod: als je stijgt in de dampkring meet je allereerst steeds meer muonen/sec, maar op een gegeven moment kan het ook weer afnemen. Het is geen eenvoudige materie.

## 5.2 Muonen bewegen bij benadering met lichtsnelheid

---

**Note:** Bereken de tijd die een muon gemiddeld nodig heeft om een afstand van 1 km af te leggen. Gebruik hierbij je kennis over de snelheid van muonen in de dampkring. Gebruik daarnaast je kennis over de halveringstijd van muonen om te voorspellen welke fractie muonen je nog overhoudt na een reis over 10 km.

---

---

**Note:** Gebruik gegevens uit de literatuur in de bijlage (Een film en een artikel uit 1961 over een muononderzoek in Washington) om aan te tonen dat de relativiteitstheorie een oplossing biedt voor de muon paradox.

---