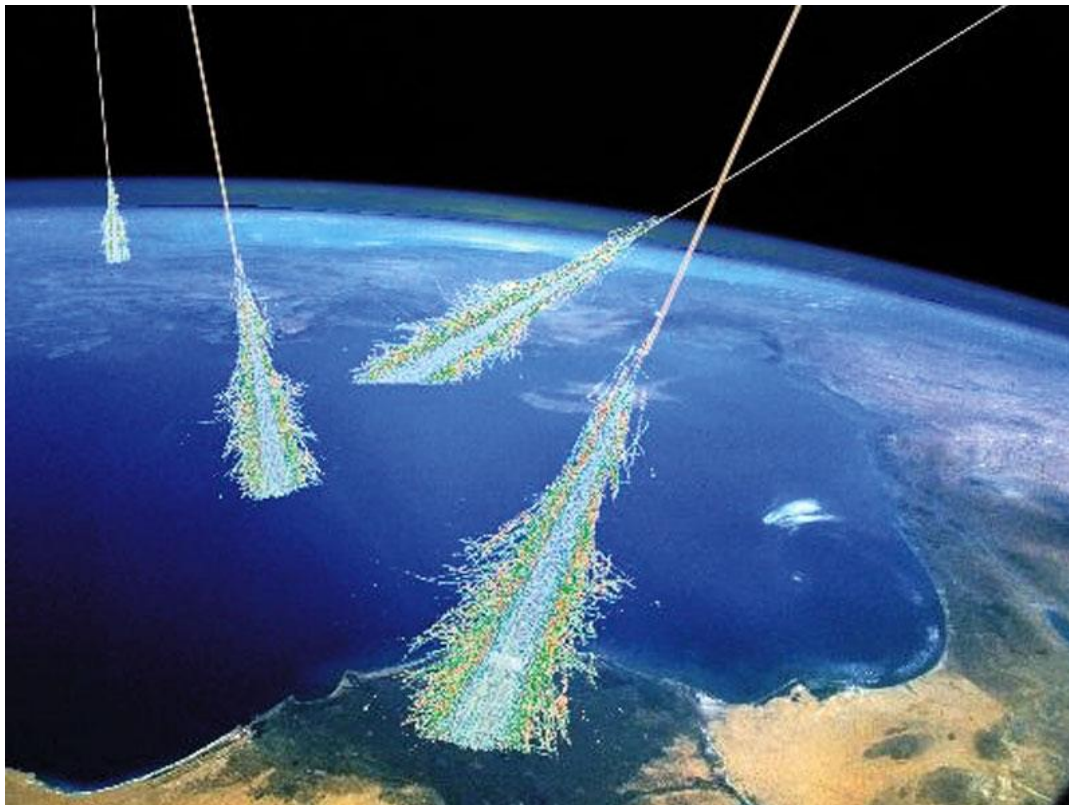


De aarde wordt continu gebombardeerd door kosmische straling, deze kosmische straling (of kosmische shower) bestaat uit allerlei primaire deeltjes, zoals ijzerkernen, protonen, koolstofkernen etc. Deze primaire deeltjes hebben energieën variërend van  $10^{14}$  t/m  $10^{20}$  eV, dit zijn energiewaarden die we op aarde in versnellers niet kunnen bereiken. Als deze primaire deeltjes op de atmosfeer botsen ontstaat er een cascade van allerlei secundaire deeltjes (zie figuur 1), dat een Extended Air Shower (EAS) wordt genoemd. Deze EAS reikt afhankelijk van de energie van het primaire deeltje en de hoogte van de eerste botsing tot het aardoppervlak. Victor Hess was de eerste die deze EAS of kosmische showers daadwerkelijk gemeten heeft tijdens diverse metingen met een luchtballon in 1912. Hess merkte dat de intensiteit van de achtergrond straling hoger werd naarmate hij hoger in de atmosfeer kwam. Terwijl men toen dacht dat deze straling voornamelijk uit de aarde afkomstig moest zijn en de intensiteit dus zou moeten afnemen naar mate je verder van de aarde af kwam. Tegenwoordig wordt er veel onderzoek verricht aan kosmische straling en EAS, door onder andere de volgende onderzoeksgroepen: KASCADE, AUGER en HiSPARC.



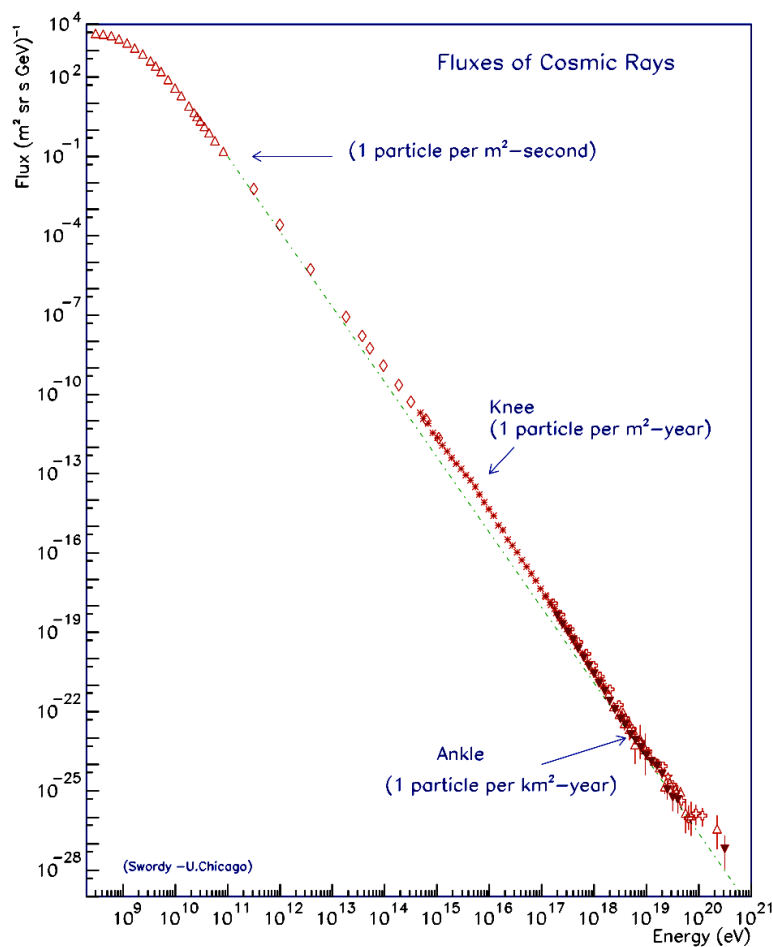
Figuur 1 artiesten impressie van kosmische straling (bron: S. Swordy, Universiteit van Chicago)

HiSPARC is een Nederlands project dat tot doel heeft om EAS te meten en te analyseren. Het project werkt samen met middelbare scholen, waarbij de scholen dienen als locatie waar de detectie stations geplaatst worden. Leraren en leerlingen installeren, beheren en onderhouden de stations, en houden de kwaliteit van de ermee verkregen meetgegevens in de gaten. Zo worden EAS in een groot oppervlak gemeten en worden middelbare scholieren betrokken bij wetenschappelijk onderzoek.

Het doel van HiSPARC is om met behulp van de stations op scholen onderzoek te doen aan deze kosmische showers. Wat zij graag te weten zouden komen is waar deze kosmische straling vandaan komt, hoe ze gemaakt wordt en wat de energie van een EAS is.

Waar kosmische straling vandaan komt is gedeeltelijk bekend. Laag-energetische deeltjes komen van de zon (de zonnewind) en van sterren uit ons melkwegstelsel. Deeltjes met energieën tot ongeveer  $10^{16}$  eV zijn afkomstig van supernova's. Deeltjes met nog meer energie kunnen aan magneetvelden van sterrenstelsels ontsnappen en zijn waarschijnlijk buiten ons melkwegstelsel ontstaan. Hierbij denkt men aan een oorsprong van primaire deeltjes uit Gamma-Ray Bursts (GRB), aan actieve kernen van ver weg gelegen sterrenstelsels, en aan andere verschijnselen die met zeer energetische plasmajets gepaard gaan. Kosmische straling zou ook afkomstig kunnen zijn van zwarte gaten en actieve sterrenstelsels.

Het aantal kosmische showers dat gemeten wordt, hangt sterk af van de energie van het primaire deeltje. Er geldt; hoe hoger de energie van het primaire deeltje is, des te kleiner de kans is om zo'n shower te meten. In figuur 2 zie je het diagram (op een dubbel logaritmische schaal) wat het overzicht geeft tussen de flux (aantal showers per tijdseenheid per oppervlak) tegen de energie van de shower. Hierin zie je dat je deeltjes met een energie van  $10^{19}$  eV één keer per jaar op een oppervlak van  $1 \text{ km}^2$  kunt aantreffen, terwijl deeltjes met een energie van  $10^{11}$  eV een keer per seconde door één  $\text{m}^2$  gaan. Duidelijk is te zien dat de grafiek tussen  $10^{20}$ - $10^{21}$  eV ophoudt. Deze grens wordt de 'GZK cut-off' genoemd. (Greisen–Zatsepin–Kuzmin limiet)

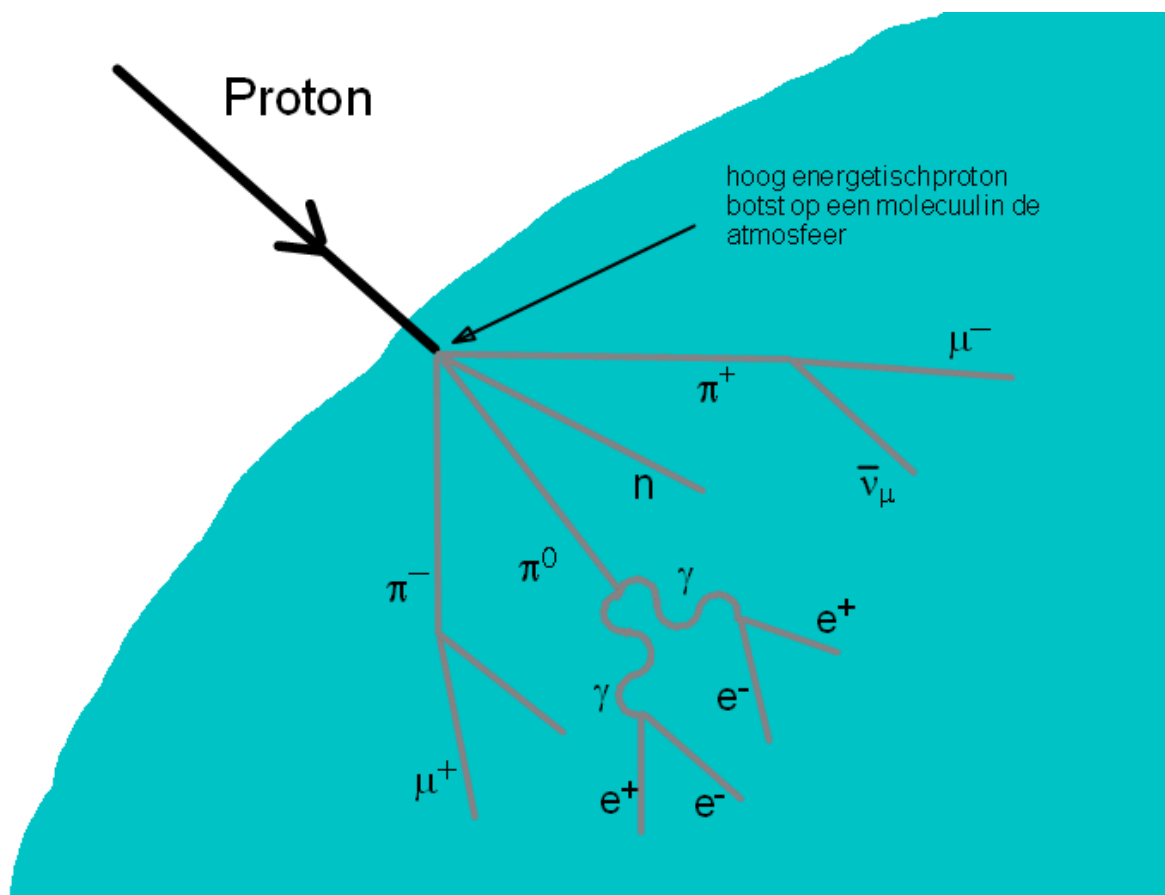


Figuur 2 Spectrum overzicht van kosmische straling (bron: S. Swordy, Universiteit van Chicago)

Je kunt het onderzoek van HiSPARC vergelijken met onderzoek van sterrenkundigen.

Sterrenkundigen bestuderen sterren met behulp van het licht wat sterren en hemelobjecten uitzenden of terugkaatsen. De informatie die zij vinden en gebruiken zit 'opgesloten' in het licht wat opgevangen wordt. De mensen die de data van HiSPARC onderzoeken, bestuderen de kosmische showers aan de hand van de detectoren die op de scholen en universiteiten staan. Zij meten de hoeveelheid deeltjes per oppervlakte eenheid en kijken naar tijdsverschillen tussen aankomst van de deeltjes in de detectoren, daarmee kunnen ze informatie over de EAS herleiden.

De HiSPARC detectiestations meten de deeltjes van de EAS die het aardoppervlak bereiken en zijn via een netwerk verbonden met het NIKHEF en de Universiteit van Nijmegen. De HiSPARC detectoren kunnen de fotonen, muonen en elektronen meten die in zo'n EAS voorkomen (zie figuur 3). Een station bestaat uit twee of vier detectoren, die ieder een eigen signaal bij een detectie van een EAS geven; de pulshoogte. Is het signaal hoog genoeg en meten twee of meer detectoren binnen een kort tijdspanne een signaal, dan slaat het meetstation dit signaal als een event op in de database. Per uur worden typisch zo'n 2000 tot 3000 events geregistreerd per station. Als meerdere detectoren of stations binnen een bepaalde tijd deeltjes detecteren dan spreken we van een coïncidentie. Bij een coïncidentie behoren dus alle metingen op dat moment bij één EAS.



Figuur 3 Een primair hoog energetisch proton botst op een molecuul in de atmosfeer. Daarbij ontstaat een cascade van deeltjes zoals, muonen, neutrino's, pi deeltjes, elektronen en (gamma-) fotonen.

Momenteel zijn de onderzoekers van HiSPARC bezig met het reconstrueren van de energie en richting van de gedetecteerde showers. Hierover kun je in het volgende artikel meer lezen. We zullen nu wat aandacht besteden aan detectiemethoden voor kosmische showers door de detectie stations van HiSPARC. Als je naar de site: <http://data.hisparc.nl>, surft, dan zie je de volgende website (figuur 4):



## List of HiSPARC stations

### Netherlands

#### Amsterdam

Amsterdam

- 2 — St. Nicolaaslyceum
- 3 — Het Amsterdams Lyceum
- 5 — Chr. Sch. Gem. Butenveldert
- 6 — Bern. Nieuwetijl Coll. (Damstede)
- 7 — Joke Smit College (ROC)
- 9 — Vrije Universiteit
- 10 — Hermann Wesselink College
- 13 — Henvormd Lyceum West
- 21 — Vechtsede College
- 22 — St. Ignatius Gymnasium

#### Science Park

- 91 — Test64
- 92 — Test32
- 93 — DAQ III Test
- 94 — Tijd Test 2 (Swap)
- 95 — Tijd Test (Reference)
- 96 — Weather station test
- 97 — MPPC test station
- 98 — Nikhef (test)
- 99 — Nikhef (test)
- 501 — Nikhef
- 502 — Sterrenkundig Instituut Anton Panne...
- 503 — SARA
- 504 — SURFara (Matrix)
- 505 — PIMu
- 506 — Telecty
- 507 — Nikhef (receptie)
- 508 — Nikhef
- 509 — Amstel Instituut

#### Zaanstad

- 101 — St. Michael College
- 102 — Zaanlands Lyceum 1
- 103 — Saenredam College
- 104 — Zaanlands Lyceum 3
- 105 — Zaanlands Lyceum 4

- 2102 — Raaijand College (Gilde)
- 2103 — Raaijand College (Melkfabriek)

#### Harderwijk

- 2201 — RSG-Slengerbos

#### Leiden

Leiden

- 3001 — Universiteit Leiden
- 3002 — Da Vinci College
- 3003 — Stedelijk Gymnasium Leiden
- 3099 — Universiteit Leiden (test)

#### Zwijndrecht

- 3101 — Walburg College
- 3102 — Walburg College (Hendrik Ido Amba...
- 3103 — Walburg College (Lindelaan)
- 3104 — Dalton Lyceum
- 3105 — CSG Willem van Oranje

#### Middelharnis

- 3201 — CSG Prins Maurits
- 3202 — RSG Middelhamis
- 3203 — RSG Gemeentehuis

#### Alphen aan de Rijn

- 3301 — Scala College
- 3302 — Het Groene Hart Lyceum
- 3303 — Ashram College

#### Terneuzen

- 3401 — Sted. Scholengem. De Rede

#### Groningen

Groningen

- 4001 — KVI
- 4002 — Maartens College
- 4003 — Praedinius Gymnasium
- 4004 — Wessel Gansfort College
- 4099 — KVI

#### Stations

List by [Location](#) [Name](#) [Number](#)

[Map](#) [Overview](#)

#### Data availability

Station — [Link to data](#)

Station No data received

#### Current status

- Up (82)
- Problem (14)
- Down (26)
- Unknown
- [Link to status](#)

#### Region map

Cluster — [Link to map](#)

[Help](#)

Figuur 4 een screenshot van de HiSPARC website.

Hier vindt je de verschillende detectiestations van HiSPARC en de plaats/school waar ze staan. Als je op een link klinkt krijg je de metingen van dat station van de afgelopen dag. Daar zie je dat je per dag best wel veel kosmische showers meet.

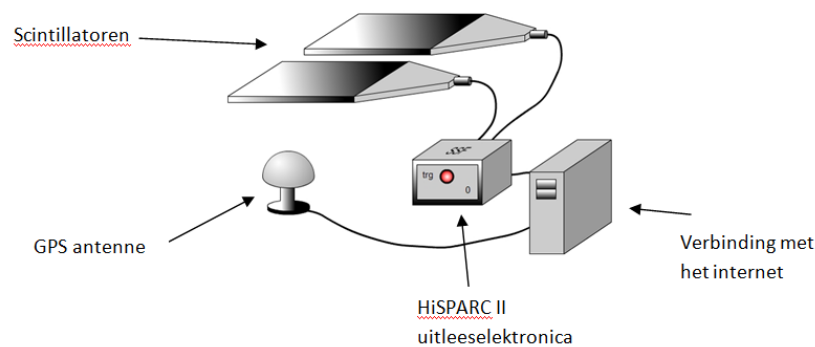
Het kan zijn dat jouw school ook een station heeft staan op het dak. De stations, die bij de universiteit van Amsterdam en het Nikhef (het sciencepark cluster) staan hebben 4 detectoren. De detectoren van de stations bevinden zich in lichtdichte skiboxen en er staat ook een GPS antenne bij, zoals je kunt zien in figuur 5.



Figuur 5 Opstelling van een HiSPARC station op het Sciencepark in Amsterdam. In elke skibox zit een detector. Ook is er een GPS antenne geplaatst om de precieze locatie van het station te meten. (bron: D. Fokkema, Doctoraal Thesis, 2012)

In deze skiboxen bevinden zich de scintillatoren en fotomultipliers, die de straling/deeltjes van de showers detecteren. Deeltjes treffen het scintillator materiaal en veroorzaken daarin een lichtflitsjes,

die op hun beurt door de foto multipliers worden versterkt. Het signaal van de fotomultiplier gaat naar een meetkastje die het signaal, tijdstempel en locatie door geeft aan de database van HiSPARC.



Figuur 6 Schematisch overzicht van de werking van de scintillator detectoren.

De uitleeselektronica krijgt het signaal zoals in figuur 6 binnen. De puls die ontstaat als geladen deeltjes worden gedetecteerd geeft een uitslag, de zogenaamde pulshoogte (zie figuur 7). Als er in een station 4 detectoren zitten krijg je ook 4 uitslagen te zien, die ten opzichte van elkaar later of eerder beginnen (zie figuur 7). Dit verschil in tijd kunnen we gebruiken om de richting van de kosmische shower te bepalen.

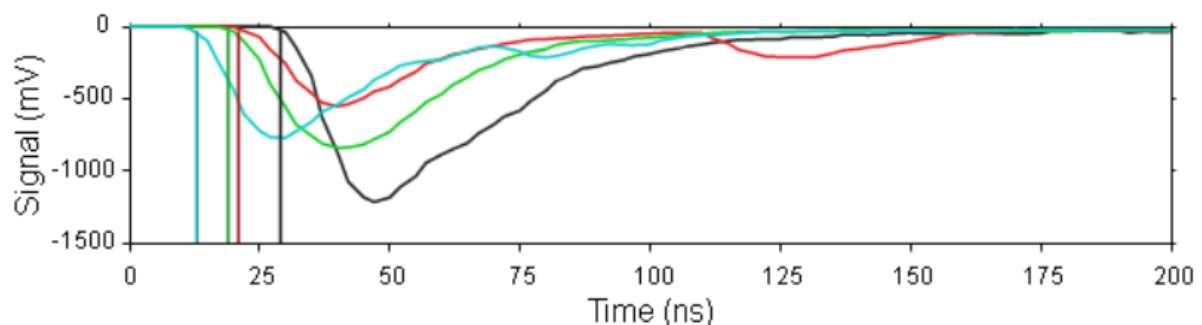
### Opdracht 1:

Dat kun je zelf uitproberen en uitrekenen voor twee kosmische showers op de volgende website:

<http://www.hisparc.nl/docent-student/lesmateriaal/routenetpad/>

en kies daar de lesbrief: richting primair deeltje.

Uit de pulsen die ze meten halen de onderzoekers van HiSPARC veel informatie, waarmee ze proberen de richting en energie van de kosmische showers nauwkeurig te reconstrueren. In figuur 7 zie je dat elke detector een signaal geeft, maar dat ze niet even hoog zijn, m.a.w. een lagere puls betekent dat er minder deeltjes geregistreerd zijn. Ook zie je in figuur 7 dat de detectoren op verschillende tijdstippen een puls geven. De rode detector registreert als derde een signaal op +/- 23 ns na de start van de meting en heeft een pulshoogte van ongeveer -550 mV.

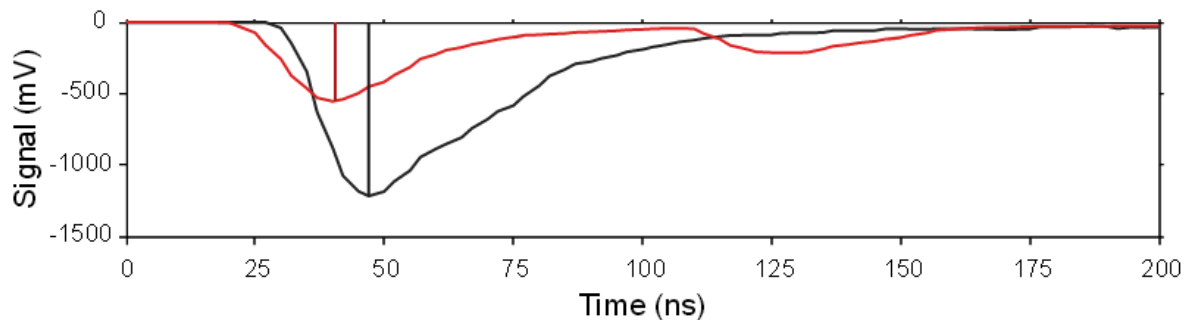


Figuur 7 Pulsen van 4 detectoren bij het registreren van een shower door een HiSPARC station.

Je ziet in figuur 7 ook dat de pulsen binnen een korte tijd na elkaar gedetecteerd zijn, als we deze tijd te lang nemen dan weten we niet meer of de pulsen uit dezelfde shower zijn of dat het signalen van

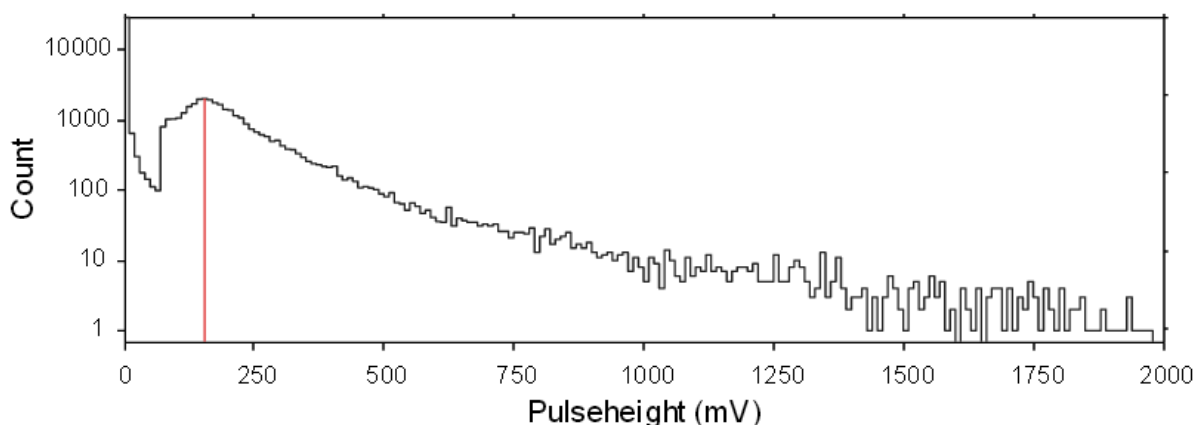
twee verschillende showers. Showers worden dus gemeten in een heel korte tijdspanne van een ongeveer honderd nanoseconden. De pulsen van figuur 7 vormen samen een event.

In figuur 8 zie je de pulsen van twee detectoren, de maximale waarde is daar aangegeven met een verticale lijn. De waarde van de potentiaal die bij dit punt hoort, wordt de pulshoogte genoemd.



**Figuur 8** Pulshoogten van twee detectoren aangegeven in pulsdiaagram.

Als we van heel veel events samen de pulshoogte bekijken dan kunnen we hiervan een histogram maken (zie figuur 9). Daarin zetten we het aantal keer dat een bepaalde pulshoogte voorkomt uit tegen de spanningswaarde van de pulshoogte. De laagste piek van de pulshoogte komt het vaakst voor en waarde geeft dus een maat voor de detectie van precies 1 deeltje in een detector. Stel dus dat de waarde van de pulshoogte -180 mV heel vaak voorkomt op een dag. Dan zul je in het pulshoogte histogram een piek krijgen bij 180 mV (we nemen nu het potentiaalverschil positief), dit is dan de waarde die hoort bij één deeltje wat gedetecteerd is. Meet je bij een ander event in een detector een puls van -540 mV, dan weet je dat er 3 deeltjes zijn gedetecteerd zijn door deze detector<sup>1</sup>. De piek in het pulshoogte diagram noemen we de MIP (Minimum Ionizing Particle) dat is waarde van de rode lijn in figuur 8 (in dit geval ongeveer 170 mV). Deze waarde wordt voor elke set data per detector elke keer opnieuw bepaald en gebruikt om het aantal deeltjes per detector te berekenen. De waarde van de MIP varieert per detector en per meetperiode, omdat hij afhankelijk is van temperatuur, spanning op de fotobuis, dikte van de scintillator, montage van de detector en leeftijd van de detector.



**Figuur 9** een pulshoogte histogram, in dit diagram zijn veel gemeten events uitgezet. De piek is de meest voorkomende uitslag van een detector. Dit is de MIP piek. In dit geval is de MIP +/- 180 mV. De MIP piek wordt gebruikt om de deeltjes dichtheid in de detector voor alle geregistreerde events uit te rekenen.

<sup>1</sup> Let op: zo eenvoudig is het in de praktijk niet, maar dit voorbeeld geeft aan hoe het ongeveer werkt.

Zodra we per event van elke detector het aantal deeltjes per oppervlakte eenheid uitgerekend hebben, kunnen we met behulp van formules uit de literatuur, proberen om een formule te fitten aan de gevonden data. Met behulp van deze fit kunnen we de plek waar de EAS kern de grond bereikte en de energie van de EAS reconstrueren. Daarover in het volgende artikel meer.