

HISPARC

Onderzoeken 4

Door:

Brian de Keijzer (16011015)

Nikita Commandeur (14107015)

Docent:

J.H.R. Lambers

NH2.a

30-03-2018

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek is bepalen welke richting in het heelal kosmische straling vandaan komt en om dit in beeld te brengen. Dit is gedaan door middel van de stralingsdetector stations HiSPARC. Hiermee worden muonen gedetecteerd. Deze ontstaan in *showers*, welke worden gevormd wanneer een primair deeltje in botsing komt met een luchtmolecuul. Aan de hand van de gedetecteerde muonen kan de richting van de *shower* worden bepaald en vervolgens in kaart worden gebracht door middel van een Pythoncode. De Pythoncode is zo geschreven dat er een willekeurige reeks data gebruikt kan worden.

In de theorie wordt besproken wat een *shower* is en waar de kosmische straling vandaan komt. Verder wordt hier besproken hoe de richting van de *shower* bepaald kan worden aan de hand van de verkregen data.

De verkregen resultaten zijn vergeleken met onderzoeksresultaten van *the Surface Detector of the Telescope Array Experiment* [1]. Deze komen niet overeen. Dit valt te verklaren omdat de minimale energie van de gedetecteerde deeltjes met HiSPARC niet hoog genoeg is. Tevens sluit dit aan met voorgaande onderzoeken gedaan met HiSPARC [2] [3].

Inhoud

1.	Inleiding	1
2.	Theorie.....	2
2.1.	Wat is kosmische straling?	2
2.2.	Hoe ontstaat een shower?	3
2.3.	Wat wordt er gemeten in de opstelling?	4
2.4.	Richting bepalen	4
2.5.	Celestial coördinaten.....	6
2.6.	Scintillatoren	6
2.7.	PMT.....	7
2.8.	Theoretische resultaten	8
3.	Werkwijze.....	10
3.1.	Meetopstelling	10
3.2.	Meetmethode	11
3.3.	Python	12
4.	Resultaten.....	13
5.	Conclusie & Discussie	14
	Bibliografie	15
	Appendix A – Pythoncode	17

1. Inleiding

In 1912 werd voor het eerst geconstateerd dat er straling afkomstig van buiten de aarde kwam, kosmische straling. Echter kon deze straling pas in 2013 gedetecteerd en gemeten worden. Er werd bekend dat deze straling afkomstig is van *showers*, welke ontstaan door primaire deeltjes, die een afkomst kunnen hebben van zowel binnen als buiten ons de Melkweg. Zo kunnen de primaire deeltjes van de zon afkomstig zijn, maar ook van bijvoorbeeld supernova's en andere grootschalige kosmische gebeurtenissen. Bij de gebeurtenissen waarbij de primaire deeltjes versneld worden krijgen ze een dusdanige kinetische energie dat deze vervalst bij het botsen met een luchtmolecuul. De primaire deeltjes bestaan voornamelijk uit protonen, maar ook uit zwaardere nucliden [4]. Bij de botsing tussen een primair deeltje en een luchtmolecuul wordt een vervalreeks in werking gezet op een hoogte van ongeveer 35 km, ook wel een *shower* genoemd. Een van de vervalproducten hiervan zijn muonen. Dit zijn een van de weinige deeltjes die daadwerkelijk het aardoppervlak bereiken. Muonen kunnen worden gedetecteerd met scintillatoren. Hoe dit werkt wordt nader toegelicht in hoofdstuk 2.6. Muonen hebben een relatief lange levensduur t.o.v. andere deeltjes in het referentie stelsel van de observator, waardoor deze als vervalproduct van een specifieke *shower* maar op een klein deel van het aardoppervlak gedetecteerd kan worden. Hoofdstuk 2 gaat dieper in op de achterliggende theorie.

In hoofdstuk 0 wordt beschreven hoe met behulp van het HiSPARC project de muonen gedetecteerd kunnen worden.

Door middel van dit onderzoek zal de volgende onderzoeksvraag beantwoord worden:

Kan de anisotropie van de afkomst richting van kosmische straling met een energie groter dan 57 EeV, zoals is waargenomen door *the Surface Detector of the Telescope Array Experiment*, worden waargenomen met HiSPARC?

Dagelijks worden er een aantal muonen gedetecteerd door een station. De hoeveelheid detecties is afhankelijk van de energie van de primaire deeltjes. Dit wordt nader toegelicht in hoofdstuk 2.3. Door de richting van meerdere *showers* in kaart te brengen, kan een *heatmap* gemaakt worden om te bepalen welke locaties in het heelal veel straling uitzenden. In hoofdstuk 0 wordt beschreven hoe deze data gebruikt en geautomatiseerd wordt.

Dit onderzoek maakt gebruik van data gemeten over vooraf ingestelde tijd. Hiermee wordt een *heatmap* gemaakt waarin door middel van een kleurenschaalverdeling duidelijk wordt vanuit welke richting de muonen afkomstig zijn. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van het onderzoek met behulp van de gemaakte *heatmap*.

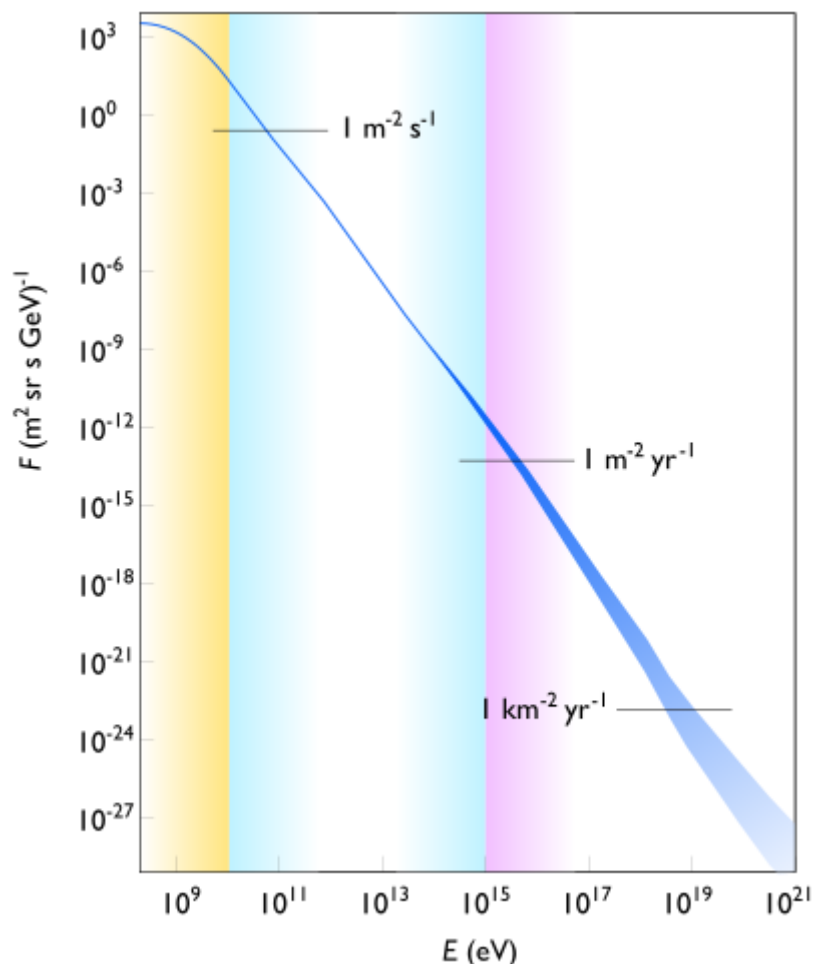
Tot slot worden in hoofdstuk 5, de conclusie, de verkregen resultaten van het onderzoek vergeleken met de literatuurwaarden, waarna bekeken wordt of het onderzoek valide is

2. Theorie

2.1. Wat is kosmische straling?

Kosmische straling zijn deeltjes, waarvan 90% protonen [5], afkomstig van buiten de aarde. Kosmische straling werd voor het eerst waargenomen in 7 augustus 1912. Meneer Hess vloog met een luchtballon naar 5,3 km hoogte en constateerde hier dat er 3x zoveel geïoniseerde straling aanwezig was dan op de grond. Hieruit werd geconcludeerd dat deze straling uit de ruimte afkomstig is. Echter kon deze straling pas in 2013 gedetecteerd worden. Kosmische straling zijn hoogenergetische deeltjes. Deze energie varieert tussen de 10^9 en 10^{20} eV. In Figuur 1 is het energiespectrum van kosmische straling weergegeven. Hierbij staat de flux op de verticale as en de energie in GeV op de horizontale as. Hierbij is te zien hoe vaak kosmische straling met een bepaalde energie voorkomt. Hoog energetische deeltjes van 10^{19} eV komen slechts 1 keer per vierkante kilometer per jaar voor. Kosmische stralen met dergelijk hoge energieën kunnen dus veel minder vaak gedetecteerd worden, zoals te zien in het figuur.

Kosmische stralen zijn protonen, neutronen of elektronen, maar soms ook heliumkernen, die vrijkomen bij bijvoorbeeld een supernova. Deze deeltjes bevatten voldoende kinetische energie om te vervallen bij botsing met een luchtmolecuul.



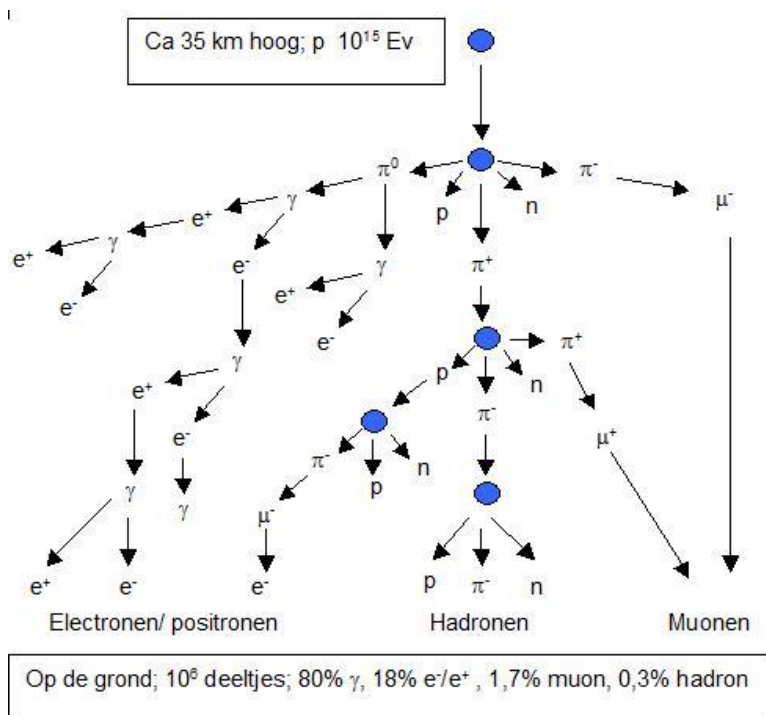
Figuur 1 Energiespectrum van kosmische straling. [6]

Laag energetische deeltjes zijn afkomstig van de zonnewind en sterren uit ons melkwegstelsel. Deze worden door het aardse magnetveld ingevangen en veroorzaken onder andere het noorderlicht. Energieën tot 10^{16} eV zijn afkomstig van supernova's. Deeltjes met nog hogere energieën, hebben

waarschijnlijk een extragalactische oorsprong. Ook kan kosmische straling afkomstig zijn van zwarte gaten, hypernova's, gammaflitsen en actieve sterrenstelsels. Deze hoogenergetisch geladen deeltjes veroorzaken een *shower*. Nog niet alle bronnen van kosmische straling zijn op dit moment bekend [6]. Momenteel is het ook nog niet bekend hoe het mogelijk is dat de kosmische straling die ontstaat deze snelheden heeft. De richting van kosmische straling wordt beïnvloed door magnetevelden. Het magneteveld van de aardse atmosfeer beschermt de aarde tegen 99,9% van de straling. [7]

2.2. Hoe ontstaat een *shower*?

Op het aardoppervlak worden de secundaire deeltjes waargenomen die ontstaan bij de botsing met de deeltjes met een luchtmolecuul. Er wordt uitgegaan van het proces van protonen, aangezien dit 90% van de kosmische straling omschrijft. Hierbij ontstaat een vervalproces, wat is afgebeeld in Figuur 2. Op een hoogte van 35 km, botst het proton met een luchtmolecuul, waardoor een shower ontstaat. Bij kosmische gammastraling vindt de botsing tussen een foton en een luchtmolecuul op een kleinere hoogte plaats. Dit is het elektronen/positronen onderdeel. Een primair deeltje heeft een energie nodig van minimaal 5 GeV voor de secundaire deeltjes om het aardoppervlak te bereiken. Wanneer deze secundaire deeltjes het aardoppervlak bereiken, wordt dit een shower genoemd.



Figuur 2 De vervalreeks van een proton dat met een luchtmolecuul botst [8]

In eerste instantie zal het proton vervallen in 3 verschillende soorten pionen. De π^+ en de π^- , die beide vervallen na $2,6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ in een muon met het bijbehorende (anti)neutrino. De derde pionsoort, het ongeladen π^0 , vervalt na $8 \cdot 10^{-17} \text{ s}$. Hierbij komen 2 fotonen vrij. De geladen mesonen leggen ongeveer 600 meter af voordat deze vervallen tot muonen. Aangezien muonen een relatief lange levensduur hebben in vergelijking tot de andere deeltjes, kunnen deze een afstand van 5 tot 10 km afleggen voordat deze komen te vervallen. Muonen hebben een groot doordringend vermogen, waardoor ze weinig energieverliezen bij botsingen. Hierdoor weet een groot deel van de muonen het aardoppervlak te bereiken. Muonen ontstaan vanaf een hoogte van ongeveer 15 km [9]. Wanneer deze muonen voldoende energie bevatten, kunnen deze ook door de aarde heen

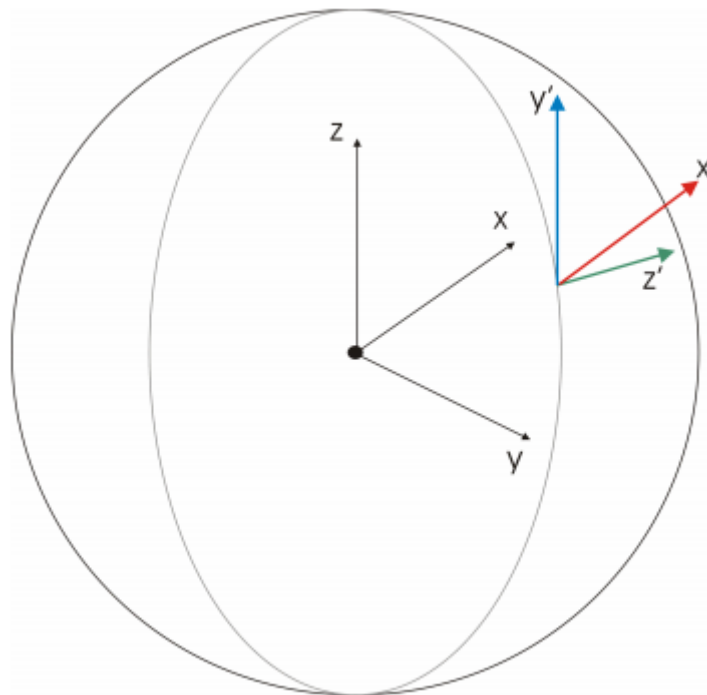
passeren. Het feit dat muonen het aardoppervlak kunnen bereiken is een direct bewijs voor de speciale relativiteitstheorie van Einstein.

2.3. Wat wordt er gemeten in de opstelling?

Bij een *shower* worden fotonen, elektronen, positronen en muonen geproduceerd. Fotonen, elektronen en positronen zijn stabiel maar verliezen veel energie bij botsingen met andere deeltjes in de atmosfeer. Hiervan zullen dus zeer veel het aardoppervlak bereiken. Echter hebben deze een verwaarloosbaar lage energie ten opzichte van de muonen. Dit is de reden dat de detectoren voornamelijk muonen meten [9]. Er zal gemeten worden met een scintillatorbalk, waarvan de fysische eigenschappen dusdanig zijn gekozen dat deze optimaal is voor de detectie van muonen.

2.4. Richting bepalen

Om te bepalen welke richting de straling heeft, zijn minimaal 3 detectoren nodig. Met minder dan 3 detectoren is het onmogelijk om de richting te bepalen. Hoe meer detectoren er gebruikt worden bij de richtingsbepaling, hoe nauwkeuriger deze zal zijn. Om de berekening zo eenvoudig mogelijk te houden, zal deze in eerste instantie enkel voor 3 detectoren uitgevoerd worden. Om de richting te bepalen, wordt gebruik gemaakt van het tijdsverschil waarmee een deeltje verschillende stations bereikt. Het deeltje zal het dichtstbijzijnde station het snelst bereiken [10].



Figuur 3 Overgang van een assenstelsel x, y, z naar een nieuw assenstelsel x', y', z' [11]

De richting van de detectoren wordt gegeven in het x, y, z coördinatenstelsel. Deze coördinaten moeten worden omgeschreven naar een coördinatenstelsel waarbij de assen over het vlak door de detectoren lopen om de richting van de shower te bepalen. Vervolgens wordt het (x', y', z') -vlak gedefinieerd. Hierbij loopt de x' -as parallel aan de evenaar en de y' -as staat hier loodrecht op. De z' -coördinaat geeft de afstand van het middelpunt van de aarde tot de detector weer. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 3. Een van de detectoren wordt aangeduid als detector 0. Deze zal dienen als referentiepunt. Vervolgens wordt de normaalvector van de punten bepaald. Deze zal van de aarde af gericht zijn. Deze vector wordt gegeven door de volgende reeks formules:

$$n_x = \frac{d_y[1]d_z[2] - d_z[1]d_y[2]}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} \quad (1.1)$$

$$n_y = \frac{d_z[1]d_x[2] - d_x[1]d_z[2]}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} \quad (1.2)$$

waarbij:

n_i de normaalvector in de i richting [°]
 $d_i(n)$ de relatieve positie in de i richting van detector n [-]

Vervolgens worden de posities van de detectoren bepaald in de x'en de y' coördinaten [11]

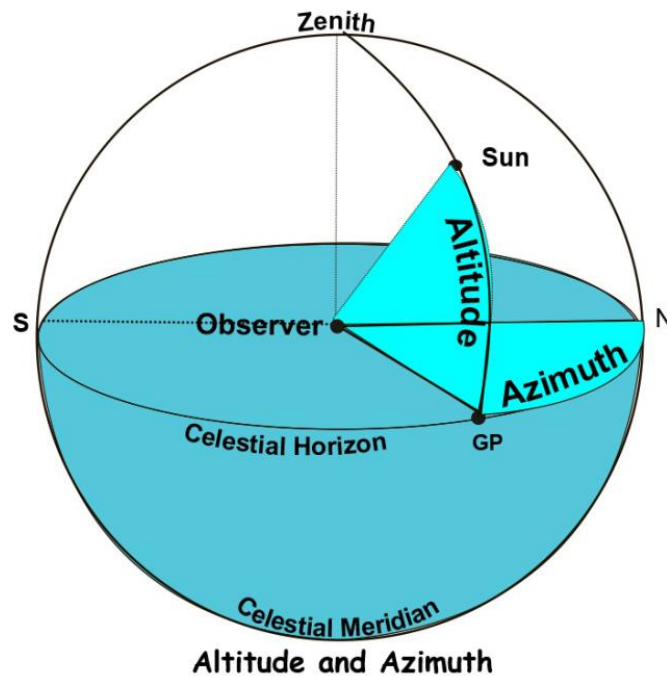
De richting van de shower wordt bepaald door de volgende formule [12] Hoe er tot deze formule is gekomen is terug te vinden in de bijlage:

$$\tan(\phi) = \frac{r_1 \Delta t_2 \cos(\phi_1) - r_2 \Delta t_1 \cos(\phi_2)}{r_2 \Delta t_1 \cos(\phi_2) - r_1 \Delta t_2 \cos(\phi_1)}$$

Waarbij:

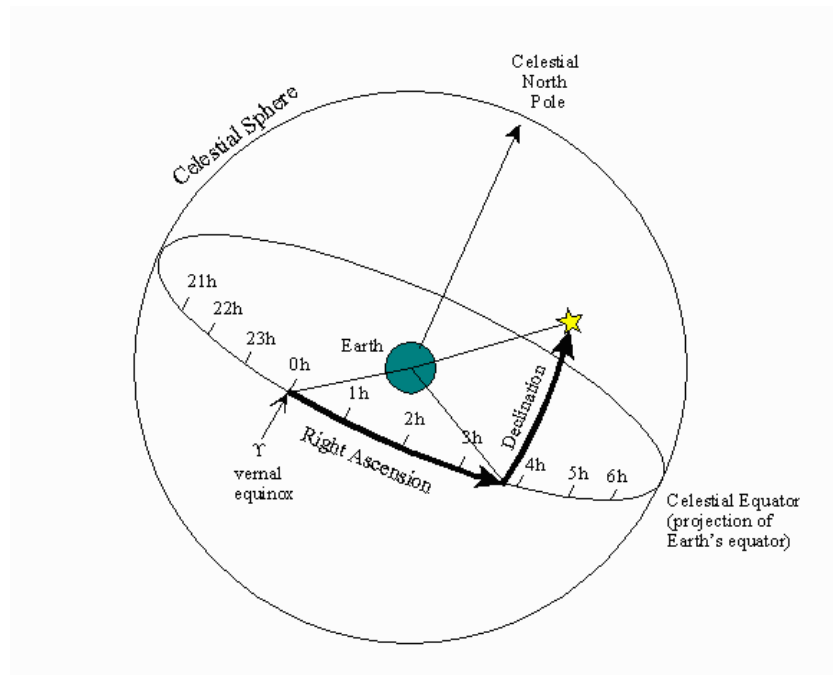
ϕ de azimuth hoek van de shower [°]
 ϕ_i de hoek tussen detector 0 en detector i t.o.v. de x-as [°]
 r_i de afstand tussen detector 0 en detector i [m]
 Δt_i het tijdverschil tussen de binnenkomst van de shower tussen detector 0 en i [s]

Door middel van formule 1 kan enkel de richting ten opzichte van de aarde bepaald worden. Voor de astronomische richting, zal de draaiing van de aarde en de verschuiving van ons sterrenstelsel meegenomen moeten worden.



Figuur 4 Zenith- en azimuth hoeken in combinatie met het celestial coördinaatstelsel [13]

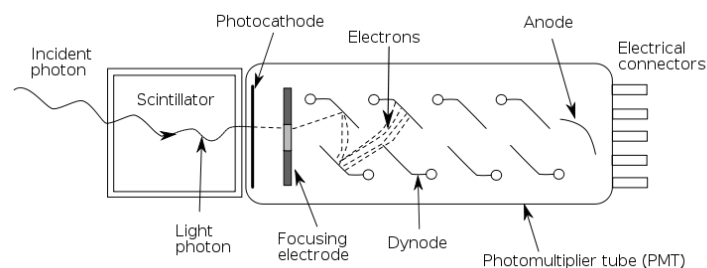
2.5. Celestial coördinaten



Figuur 5 Celestial coördinaten ten opzichte van de aarde [14]

In het celestial coördinaatstelsel is de oorsprong het centrum van de aarde, de z-as de richting van de Noordpool en het xy-vlak het vlak van de evenaar, zoals te zien in Figuur 5. Coördinaten worden gedefinieerd door een rechte klimming en declinatie. De rechte klimming is de hoek ten opzichte van de vernal equinox. De declinatie is de hoek loodrecht op dit vlak. De Poolster heeft een declinatie van bijna negentig graden ($89,26^\circ$). De positie van de poolster is weergegeven in het figuur. Om de azimuth en zenithoek om te rekenen naar celestial coördinaten, is de locatie van het HiSPARC-station op aarde in *longitude* en *latitude* coördinaten en het exacte tijdstip van de shower nodig. Dit bevat complexe berekeningen, waar een code voor beschikbaar is in Python [3].

2.6. Scintilatoren



Figuur 6 een schematische weergave van de scintillator met de PMT binnen een detector [15]

Het materiaal in de scintillator raakt in aangeslagen toestand bij het botsen met een geladen deeltje. Wanneer het geladen deeltje terugkeert naar de grondtoestand, zendt dit een foton uit. Het materiaal in de scintillator kan zowel een vaste stof, vloeistof als een gas zijn. [16]

Het NaI scintillator materiaal wordt het meest gebruikt. Deze detecteert de γ -straling [17]. Vloeibare scintillatoren worden gebruikt om deeltjes met een lage energie te detecteren, aangezien deze niet of nauwelijks door vaste stoffen heen dringen. [16]

Scintillatoren zijn temperatuursafhankelijk. De hoeveelheid losse elektronen is afhankelijk van de temperatuur. Dit wordt ook wel thermische ruis genoemd, welke gefilterd kan worden. Deze temperatuursafhankelijkheid hangt af van het materiaal [18].

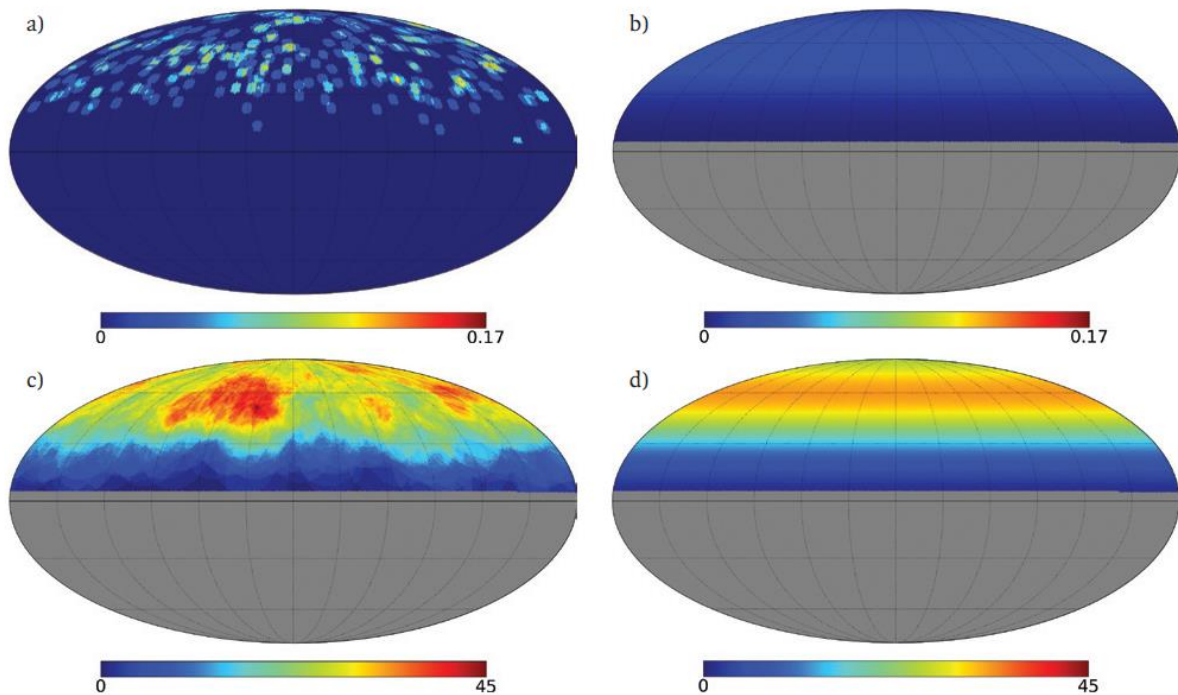
In het scintillator materiaal wordt de energie van een ingevallen deeltje geabsorbeerd. Hierbij komt een aantal fotonen vrij, waarvan de energie gelijk is aan energie van het ingevallen muon. De golflengte van de uitgezonden fotonen is afhankelijk van het gebruikte scintillatormateriaal. Deze moet overeenkomen met de golflengte die nodig is om elektronen vrij te maken in de fotokathode [19].

2.7. PMT

De vrijgekomen fotonen zullen vervolgens vanuit de scintillator de *photo multiplier tube* (PMT) ingaan. De fotonen vallen op de fotokathode, waarbij de energie wordt overgegeven aan een elektron in de fotokathode. Door deze energie komt het elektron vrij, ookwel bekend als het foto-elektrisch effect. Het elektron zal evenveel kinetische energie hebben als het oorspronkelijke foton. Ook zal deze een bewegingsrichting krijgen evenwijdig aan dat van het foton. Hierbij komt een hoeveelheid elektronen vrij die recht evenredig is met de hoeveelheid ingevallen fotonen. Het is hierbij van belang dat het materiaal waarvan de fotokathode is gemaakt een lage uittree energie heeft, zodat de elektronen eenvoudig vrijkomen. Vervolgens worden de elektronen, ofwel de spanning van de elektronen, versterkt door een reeks dynodes, zoals te zien is in Figuur 6. De vrijgekomen elektronen botsen tegen elektronen in de dynodes, waardoor hierbij ook elektronen vrijkomen. Dit proces wordt bij elke dynode herhaald. Elke elektron 1 ander elektron vrijmaken, waardoor het aantal elektronen verdubbelt bij iedere botsing met een dynode. In een PMT zitten zo'n 8 tot 14 dynodes. [19]

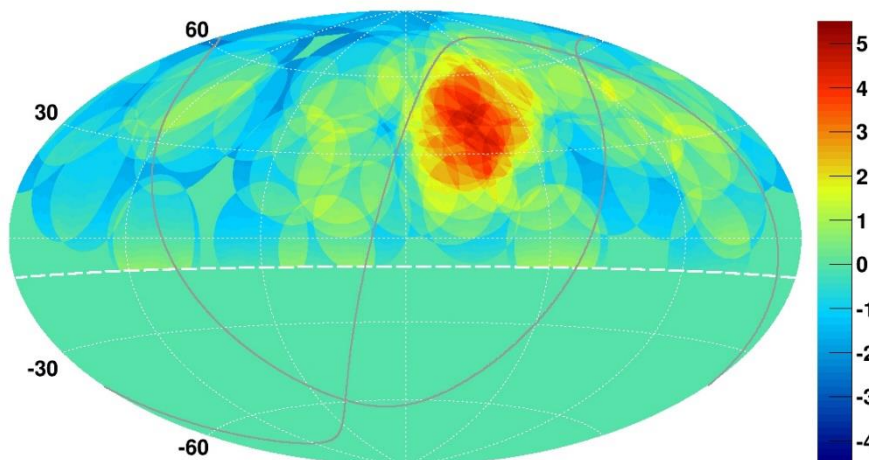
Aan het eind van de PMT bevindt zich een anode. Deze zet de elektronenbundel om in een stroom, welke vervolgens gemeten kan worden. De gemeten stroom is afhankelijk van het aantal elektronen dat op de anode valt en dus afhankelijk van de kinetische energie van het invallende deeltje op het scintillatormateriaal

2.8. Theoretische resultaten



Figuur 7 A) weergave van de gemeten gebeurtenissen, B) verwachte hoeveelheid gemeten gebeurtenissen, C) Data na oversampling met 20 graden, D) gemodelleerde achtergrond na oversampling met 20 graden [2]

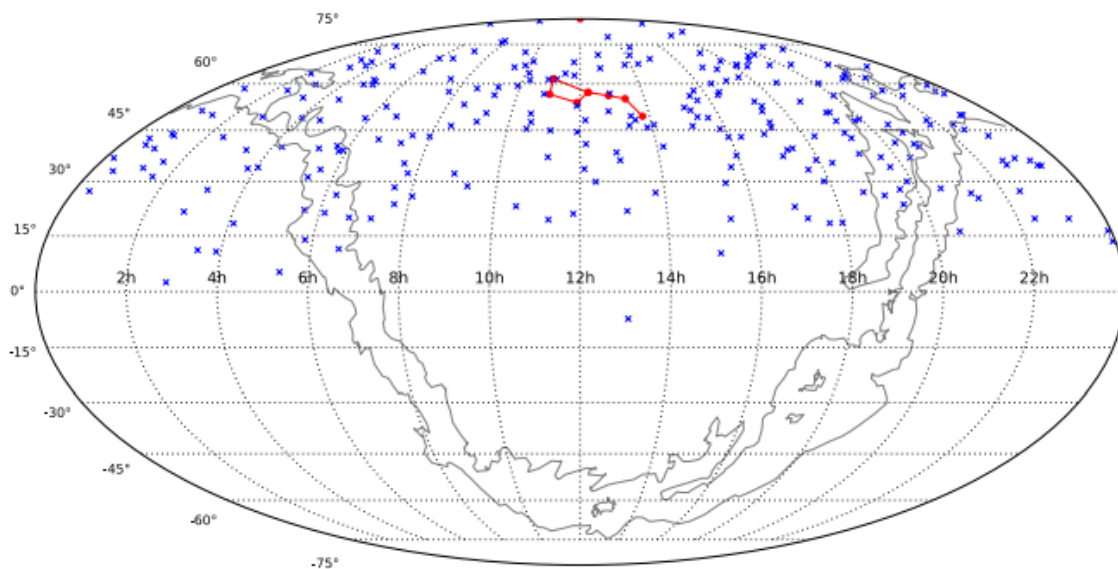
In Figuur 7 zijn de resultaten weergegeven van een voorgaand onderzoek. Hierbij is gebruik gemaakt van de stations in Amsterdam. Wanneer een shower door 6 van de 10 stations werd waargenomen, werd deze data verwerkt in een dataset. Dit leverde 268 resultaten op over een periode van 5 jaar. Vervolgens is er een *oversampling* van deze data gemaakt van 20 graden om de vervorming van het digitale signaal te verminderen. In 2014 werd voor het eerst een *hotspot* gedetecteerd door de *Telescope Array* (TA) op rechte klimming $146,7^\circ$ en declinatie $43,2^\circ$. In Figuur 7 C geen *hotspot* te zien op deze coördinaten. Deze hotspot bestaat uit kosmische staling met energieën hoger dan 57 EeV. Bij HiSPARC worden lage energieën gemeten vanaf 1 EeV, aangezien de stations zich te dicht bij elkaar bevinden. Bij dergelijke lage energieën, zal deze hotspot verdwijnen. De algehele verdeling in Figuur 7 C is als isotroop te beschouwen. Hieruit resulteert Figuur 7 D [2].



Figuur 8 de hotspot van hoog energetische deeltjes gedetecteerd door de TA [20]

De verkregen resultaten van de TA zijn weergegeven in Figuur 8. Hierbij is duidelijk een *hotspot* van hoogenenergetische deeltjes te zien op rechte klimming $146,7^\circ$ en declinatie $43,2^\circ$. In dit figuur wordt de concentratie van hoogenenergetische deeltjes weergegeven aan de hand van kleuren. Rechts is te zien welke kleur erbij welke concentratie hoog energetische deeltjes hoort.

Meetresultaten van een ander onderzoek zijn te zien in Figuur 9. Hierbij is te zien dat nagenoeg alle waarnemingen plaatsvonden tussen de 0° en 90° declinatie. Verder is te zien dat de waarnemingen evenredig verdeeld zijn over de rechte klimming.



Figuur 9 Een projectie van de gehele hemelbol. De blauwe kruisjes zijn aankomstrichtingen van deeltjeslawines die door minstens zeven HiSPARC stations tegelijkertijd gemeten zijn. Als referentie zijn de contouren van de Melkweg, de Poolster en het steelpan-asterisme van de Grote Beer weergegeven [3].

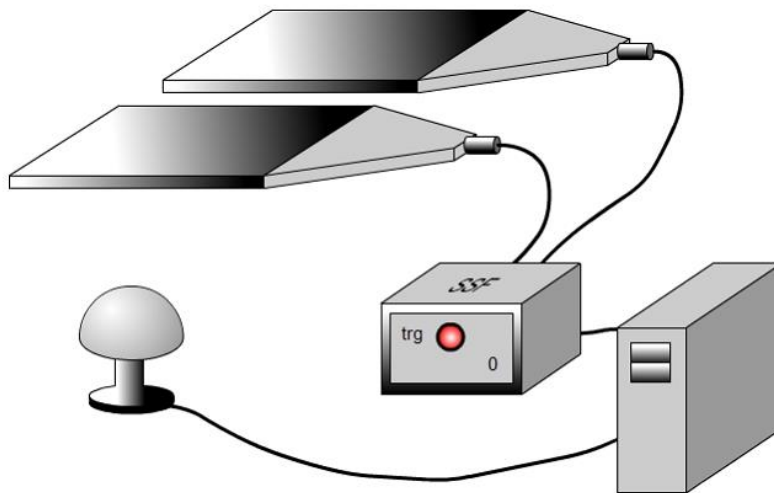
De acceptantie van de detector is gemiddeld maximaal 30%. In 70% van de gevallen komen de deeltjes niet uit het waarneembaar gebied. De kans op detectie neemt af wanneer de declinaties groter of kleiner zijn.

3. Werkwijze

3.1. Meetopstelling

De detectoren van de HiSPARC liggen per 2 of per 4 in een dakkoffer, welke doorgaans gevestigd zijn op het dak van een gebouw. Deze dakkoffers zijn nodig om de detectoren tegen de weersomstandigheden te beschermen. Ieder station heeft een gps-antenne om de tijd bij te houden op 5 ns nauwkeurig [21]. Een station bestaat uit 1 of meer dakkoffers, die samen op 1 gps zijn aangesloten. Een groep stations wordt een array genoemd. De scintillatorplaten in een station hebben een oppervlak van $0,5 \text{ m}^2$. Een schematische weergave van een scintillatorplaat in combinatie met de PMT, is weergegeven in Figuur 6. Hierbij valt een geladen muon, afkomstig van een *shower*, in de scintillator door de scintillatieplaten, waardoor de atomen en moleculen geëxciteerd raken. Vervolgens raken de atomen hun energie weer kwijt in de vorm van fotonen. Hierbij krijgen de gecreëerde fotonen een kinetische energie mee [12]. Dit laatste proces vindt plaats in de Photo multiplier tube (PMT). In Figuur 10 is een schematische weergave van een station afgebeeld. Hierbij zijn linksboven 2 scintillatorplaten afgebeeld met daaraan de PMT's gekoppeld. Deze zijn gekoppeld aan de HiSPARC electronics (SSF). Deze filtert de benodigde data, welke vervolgens via een PC worden geüpload. Links onderin het figuur is de GPS antenne afgebeeld.

Per seconde worden rond de 1000 muonen gedetecteerd door een scintillator. Om de deeltjes te filteren die uit dezelfde lawine komen, wordt er gebruik gemaakt van 2 scintillatorplaten in de opstelling op een onderlinge afstand van een aantal meter. Wanneer er door beide scintillatorplaten op hetzelfde moment een muon wordt gedetecteerd, komen deze uit dezelfde *shower* [22]. De muonen afkomstig uit dezelfde *shower* worden gefilterd in de SSF. De data wordt verzonden naar een HiSPARC II control box, waarbij de overeenkomende data van 2 detectoren wordt opgeslagen.

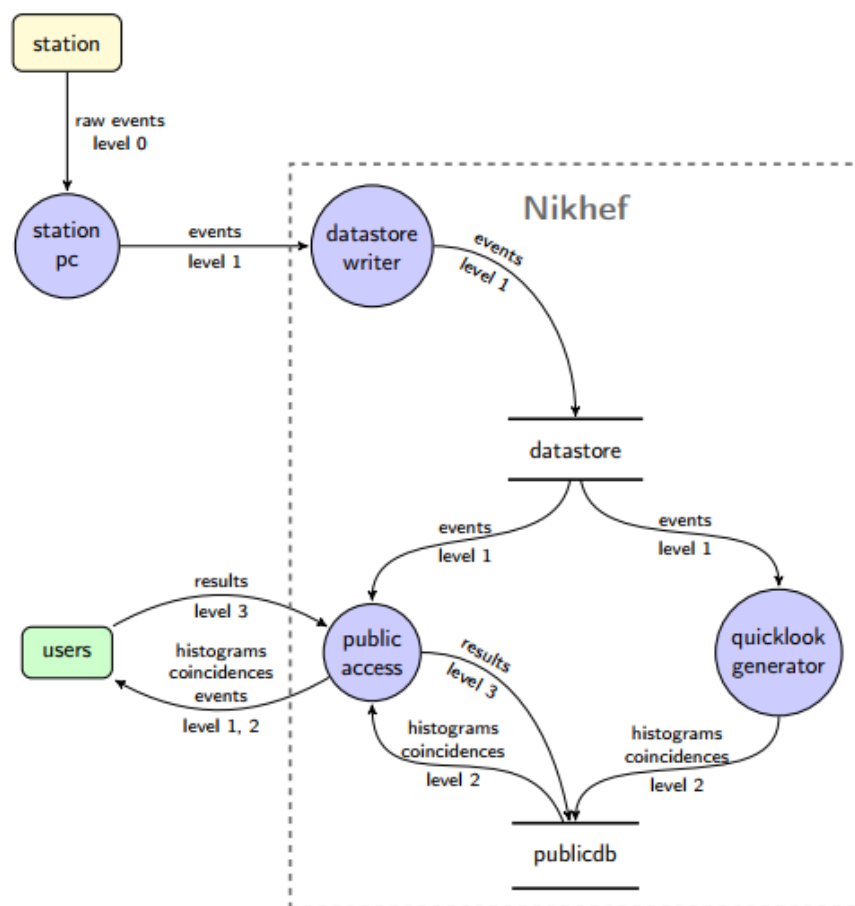


Figuur 10 schematische weergave van een station [23].

Dit wordt door middel van een LabVIEW programma naar de aangesloten PC verzonden. Het *Data acquisition proces* (DAQ proces) stuurt de data door, door middel van een elektronisch proces. Om een gebeurtenis te definiëren zijn 2 afzonderlijke berichten nodig van 2 dakkoffers. Er zijn 3 detecties van afzonderlijke stations nodig binnen het tijdsbestek van 1 seconde om zo nauwkeurig mogelijk het GPS tijdstip te bepalen van de gedetecteerde gebeurtenis. Wanneer de aankomsttijden exact gelijk zijn, is er sprake van een horizontale *shower*. Deze data wordt opgeslagen op een schijf op een MySQL database [10].

Een computer krijgt de data binnen en geeft deze weer in een grafiek met de pulshoogte als functie van de tijd. De pulshoogte geeft de energie van het ingevallen deeltje weer. Als de computer twee pieken van beide detectoren tegelijk meet een onzekerheidsmarge van 2.5 ns, wordt de data opgeslagen als een coïncidentie. S' nachts wordt alle data naar de HiSPARC server verstuurd [24].

Een schematische weergave van deze opstelling is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11 Gedetailleerde omschrijving van het proces, waarbij de data wordt verwerkt. [10]

3.2. Meetmethode

Bij het onderzoek zal gebruik gemaakt worden van HiSPARC stations. Hoe dicht de detectoren op elkaar liggen, hoe meer showers er gedetecteerd zullen worden. Dit komt doordat de *showers* een minder hoge energie nodig heeft om gedetecteerd te worden, deze lagere energieën komen vaker voor. Het is dus van belang dat de gebruikte detectoren niet te dicht op elkaar staan, zodat ze de *showers* met een lage energie niet detecteren, maar ook niet te ver van elkaar af staan. De breedte van een *shower* zal toenemen wanneer de energie van het primaire deeltje toeneemt. Het doel is om detectoren te kiezen welke een kilometer uit elkaar liggen. Hierdoor zullen we geen coïncidenties meten afkomstig van *showers* met een relatief lage energie. Echter is het verband tussen de afstand van de detectoren en de minimale energie van het primaire deeltje onbekend, in ieder geval voor dit onderzoek. Vervolgens worden de afstanden en de hoeken tussen de stations bepaald, zoals omschreven in de theorie.

Om de richting van het primaire deeltje te bepalen, zal de draaiing en verschuiving van de aarde ten opzichte van het heelal meegenomen moeten worden in de berekening. Hiervoor zullen de Zenith en Azimuth coördinaten omgezet worden naar het *celestial* coördinaatstelsel, zoals beschreven staat in de theorie. Dit zal gebeuren met behulp van een Pythoncode.

Het inlezen, filteren en verwerken van de data zal worden geautomatiseerd met behulp van Python. Vervolgens wordt deze data verwerkt in een figuur, waarbij de richting van alle gedetecteerde *showers* worden weergegeven.

3.3 Python

Gezien het gehele onderzoek, wat betreft de uitvoering, bestaat uit programmeren en het analyseren van data, zal de gemaakte Pythoncode nader toegelicht worden in dit hoofdstuk. De code zelf is terug te vinden in Appendix A.

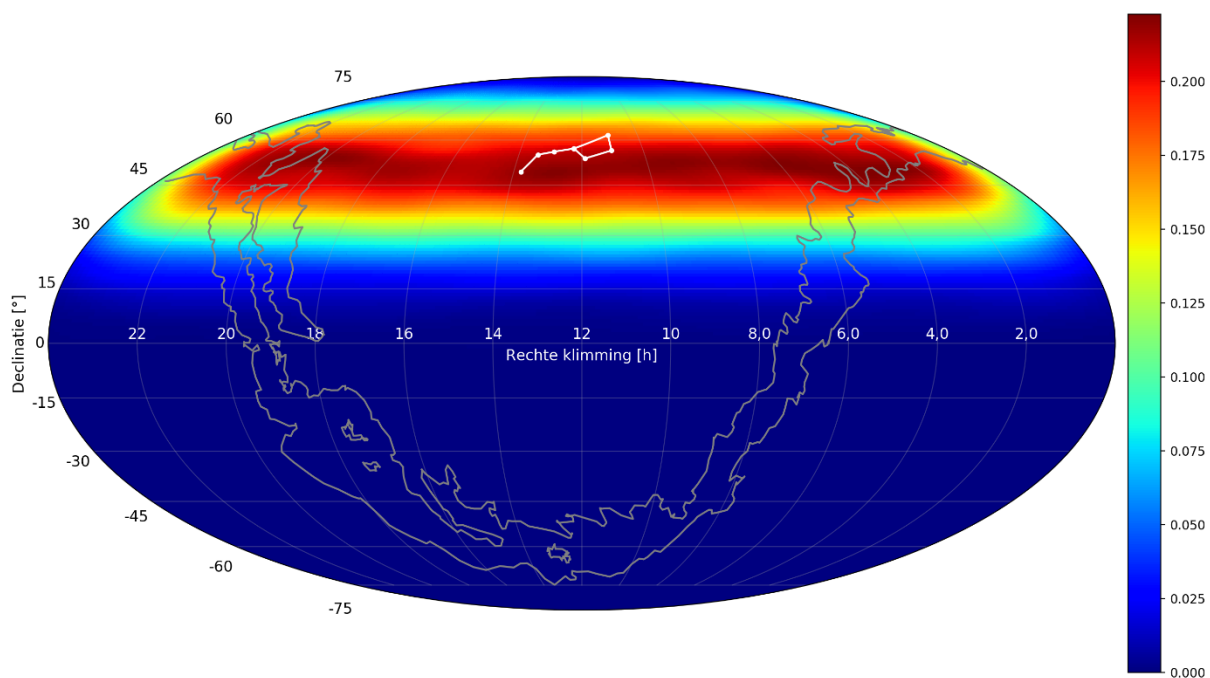
Als basis voor de data analyse is er gebruik gemaakt van HiSPARC SAPPHiRE. In het bijzonder wordt deze *framework* gebruikt voor het downloaden van de data, het omzetten van de coördinaten en de hoek reconstructie van de primaire deeltjes. Deze code is te vinden middels: github.com/HiSPARC

Als basis voor de code is het 'Reconstructies op een hemelkaart' gebruikt. Deze is op de HiSPARC Github te vinden onder 'infopakket/notebooks/10_sterrenkaart.md'.

De functie 'stats.gaussian_kde' wordt gebruikt voor het schatten van de waarschijnlijkheidsdichtheid functie van alle verkregen hoek reconstructies. Vervolgens wordt er met Numpy een *mesh grid* gemaakt doormiddel van 'numpy.mgrid'. Uiteindelijk wordt het resultaat geplot door middel van Matplotlib. Om specifieker te zijn wordt er een 'pcolormesh' plot gemaakt op een *mollweide* projectie. Op de gemaakte plot worden de melkweg contourer weergegeven. Ook wordt de locatie van de grote beer weergegeven. Mocht het van belang zijn om andere sterren weer te geven dan kunnen de coördinaten verkregen worden via SIMBAD Astronomical Database.

Verder is het belangrijk om te vermelden dat de code uitermate is geoptimaliseerd ten opzichte van de originele *notebook*. Wat in de originele code ~9 uur duurde kan nu gedaan worden in ~1,5 uur. Dit heeft ervoor gezorgd dat er interactief met de data van HiSPARC kan worden omgegaan. Om de daadwerkelijke veranderingen met betrekking tot de optimalisatie te zien moet de code van Appendix A vergeleken worden met het eerder benoemde notebook: 10_sterrenkaart.md.

4. Resultaten



Figuur 12 De verkregen meetresultaten van ~3 jaar aan meetwaarden verkregen door stations van het Science Park te Amsterdam.

In Figuur 12 zijn de verkregen resultaten afgebeeld in een heatmap. De gebruikte data is van 2015-06-02 tot 2018-01-01 met een coïncidentie van 3 bij de volgende stations: 501, 502, 508, 510 en 511. Hierbij wordt door middel van de kleur aangegeven hoeveel coïncidenties er afkomstig zijn uit een bepaalde richting in het heelal.

De ligging van de grote beer, wat volgens de literatuurstudie een grote straler is, is weergegeven in het figuur. Verder is ook de ligging van het melkwegstelsel afgebeeld in het figuur. Deze is te herkennen aan de grijs omlijnde vlakken. Voor de rechte klimming is de tijdsaanduiding gebruikt. Dit betekent dat positie wordt gedefinieerd in uren. Voor de declinatie is gebruik gemaakt van een aanduiding met behulp van graden.

In het figuur is te zien dat er bij een declinatie onder de 0° geen muonen zijn gedetecteerd door de gebruikte stations. Hierna loopt het aantal gedetecteerde muonen op totdat deze een piek bereiken tussen de 45 en de 60 graden, waarna het aantal gedetecteerde muonen weer afloopt. Deze observatie is gelijk voor alle waarden voor de rechte klimming.

Er is ook een gif gemaakt van de meetwaarden bovenstaande stations over een periode van 2017-01-01 tot 2017-11-26 waarbij 1 frame 1 dag aan meetwaarden zijn. Echter kan een gif niet worden weergegeven in een Word document, dit bestand moet in een *browser* worden geopend. Deze is hier te vinden: <https://github.com/deKeijzer/HiSPARC-Onderzoeken-4>

Vervolgens staat de gif onderaan de pagina. De gif bestaat uit 286 *frames*. Dit zijn 286 dagen aan meetwaarden.

5. Conclusie & Discussie

De verkregen resultaten zijn vergeleken met onderzoeksresultaten van *the Surface Detector of the Telescope Array Experiment* [1]. Deze komen niet overeen. Dit valt te verklaren omdat de minimale energie van de gedetecteerde deeltjes met HiSPARC niet hoog genoeg is. Tevens sluit dit aan met voorgaande onderzoeken gedaan met HiSPARC [2] [3]. De resultaten zullen nader worden toegelicht.

In Figuur 12 is te zien dat er de meeste muonen worden gedetecteerd bij een declinatie tussen de 45 en de 60. Verwacht wordt dat dit komt door de ligging van de stations. Zoals in de theorie beschreven is, houden de celestial coördinaten nauw verband met de *longitude* en *latitude* aardse coördinaten. Amsterdam bevindt zich op 52° latitude coördinaten. Dit ligt op dezelfde hoogte als de declinatie waar vandaan de meeste muonen zijn gedetecteerd. Dit kan verklaard worden omdat deze aardse coördinaten het dichtstbij de celestial coördinaten staan. Muonen vervallen nadat ze een afstand hebben afgelegd van ongeveer 15 km. Hoe groter de hoek is waar een *shower* vandaan komt, hoe meer afstand de muonen moeten afleggen om de aarde te bereiken. Onder grotere hoeken, zullen dus enkel deeltjes gedetecteerd worden met hogere energieën en deze komen minder vaak voor.

Verder is in Figuur 12 een lichte sinusoïde te zien in het donkerrode vlak. Deze wordt mogelijk verklaard door een onnauwkeurigheid in de correctie van de schommeling van de aarde. Nader onderzoek zal kunnen uitsluiten of het door een beweging van de aarde of het heelal komt, welke niet is meegenomen bij de coördinaten transformatie. De daadwerkelijke afkomst van deze systematische fout is onbekend.

De gemeten straling is gedetecteerd door HiSPARC stations die relatief dichtbij elkaar liggen, de afstand betreft ~200m. Hierdoor worden ook deeltjes met een lage energie, rond de 10^{10} eV gedetecteerd. Wanneer er gekozen wordt voor stations die verder van elkaar verwijderd zijn, zal er meer onderscheid gemaakt worden in de grote stralers in het figuur. Echter is dit wegens een gebrek aan beschikbare data vanuit HiSPARC niet gelukt.

Wanneer er stations uit bijvoorbeeld Nijmegen gebruikt worden, waarvan de data teruggaat tot 2014, dan waren er vaak problemen met het downloaden van de data. Het viel op dat wanneer er data gedownload werd met bepaalde instellingen, dit niet altijd reproduceerbaar was. Soms gaf SAPPHiRE aan dat het niet mogelijk was de data te downloaden, terwijl het voorheen wel succesvol is gelukt. Mogelijk valt dit te verklaren omdat de servers van HiSPARC een stroomstoring hebben ondervonden in de tijd van dit onderzoek. Wellicht is bevatten het interne systeem van HiSPARC hierdoor enkele problemen.

In de theorie zijn resultaten besproken van voorgaande metingen met de HiSPARC opstelling. De verkregen resultaten komen overeen met de resultaten verkregen uit de literatuurstudie. Vergelijk hiervoor figuur 11 met figuur 7d. Wegens de lengte van het verslag is ervoor gekozen

Verder sluit de gemaakte gif (<https://github.com/deKeijzer/HiSPARC-Onderzoeken-4>) aan bij Figuur 11. Er is te zien dat de straling niet significant meer van de grote beer afkomst dan van andere plekken.

Bibliografie

- [1] „Cornell University Library,” [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1404.5890>. [Geopend 30 03 2018].
- [2] S. Beijen, „een hotspot voor UHECR's zichtbaar met Hisparc?,” *Nederlands tijdschrift voor natuurkunde*, vol. 81, nr. 5150, p. 56, 2015.
- [3] N. S. K. v. D. e. B. v. E. Tom Kooij, „HiSPARC: big data voor schoolieren,” *nederlands vaktijdschrift voor natuurkunde*, vol. 82, p. 52, 2016.
- [4] „Cosmic ray,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray. [Geopend 29 03 2018].
- [5] Wikipedia, 10 03 2018. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray. [Geopend 22 03 2018].
- [6] „kosmische straling,” Wikipedia, 23 11 2017. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Kosmische_straling. [Geopend 22 03 2018].
- [7] „Kuuke,” 26 04 2016. [Online]. Available: <https://www.kuuke.nl/wat-is-kosmische-straling/>. [Geopend 13 03 2018].
- [8] „positron,” 10 09 2017. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Positron>. [Geopend 13 03 2018].
- [9] J. V. Holten, „airshowers,” Nikhef, [Online]. Available: http://www.hisparc.nl/fileadmin/HiSPARC/Lesmateriaal_fysica__jan-willem_/shower.pdf. [Geopend 13 03 2018].
- [10] D. Fokkema, „HiSPARC experiment,” 13 02 2018. [Online]. Available: https://www.nikhef.nl/pub/services/biblio/theses_pdf/thesis_D_Fokkema.pdf.
- [11] M. Kok, „hisparc,” 26 09 2008. [Online]. Available: http://www.hisparc.nl/fileadmin/HiSPARC/werk_van_students/stageverslag_Manon_Kok.pdf. [Geopend 13 2 2018].
- [12] A. B. S. Vega, „hisparc,” 13 1 2017. [Online]. Available: http://www.hisparc.nl/fileadmin/HiSPARC/werk_van_students/Verslag_Muonen_HiSPARC-_S.Vega_en_A.Bent.pdf. [Geopend 14 2 2018].
- [13] „astro demystified,” [Online]. Available: <https://astronavigationdemystified.com/the-demystified-astro-navigation-course-unit-3/>. [Geopend 26 03 2018].
- [14] National Oceanic and Atmospheric Administration , „National Oceanic and Atmospheric Administration,” [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/glossary.html>. [Geopend 15 03 2018].

- [15] C. Eberhardt, „wikipedia,” 13 03 2006. [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photomultipliertube.svg>. [Geopend 16 2 2018].
- [16] J. Zmeskal, „OAW,” 16 1 2015. [Online]. Available: https://www.oeaw.ac.at/fileadmin/subsites/etc/Institute/SMI/PDF/Detectors_WS2014-15_A2.pdf. [Geopend 22 2 2018].
- [17] „licht,” 20 09 2013. [Online]. Available: <https://www.licht.ovh/tonen/nl/Scintillatiemeter>. [Geopend 22 02 2018].
- [18] Timmer, „Hefru,” [Online]. Available: <http://www.hef.ru.nl/~timmer/NLT/basisstof/h4%20de%20detector%20op%20schoolrmo.htm>. [Geopend 26 03 2018].
- [19] wikipedia, „wikipedia,” 27 10 2016. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Fotomultiplicator>. [Geopend 22 2 2018].
- [20] N. T. Redd, „Big Dipper Hotspot,” space.com, 08 06 2014. [Online]. Available: <https://www.space.com/26460-big-dipper-cosmic-ray-hotspot-mystery.html>. [Geopend 30 03 2018].
- [21] A. d. Laat, „Nikhef,” 2013. [Online]. Available: http://www.hisparc.nl/fileadmin/HiSPARC/documenten/Posters/131007_ICALEPCS.pdf. [Geopend 22 02 2018].
- [22] „hisparc detector,” hisparc, [Online]. Available: <http://www.hisparc.nl/over-hisparc/hisparc-detector/>. [Geopend 22 03 2018].
- [23] „hisparc,” [Online]. Available: <http://www.hisparc.nl/nlt/hoofdstuk2.htm>. [Geopend 22 03 2018].
- [24] C. Tonnaer, „korta,” 31 07 2017. [Online]. Available: <http://www.korta.info/profielwerkstuk-coen-tonnaer.html>. [Geopend 22 03 2018].

Appendix A – Pythoncode

De gehele Pythoncode is hier terug te vinden: <https://github.com/deKeijzer/HiSPARC-Onderzoeken-4>

Voor het gemak is de code ook hier in de bijlage toegevoegd. De code via GitHub is uitvoerbaar d.m.v. Jupyter Notebook.

main.ipynb:

```

Functie voor het downloaden van data, maak de reconstructies en slaat het databestand op.

In [31]: 1 """
2 Bron van de code, welke als basis is gebruikt:
3 https://github.com/HiSPARC/infopakket/blob/master/notebooks/10_sterrenkaart.md
4 Merk op dat hier en daar iets is aangepast
5 """
6
7 from __future__ import division, print_function
8
9 from datetime import datetime
10 import numpy as np
11 import matplotlib.pyplot as plt
12 import tables
13 from sapphire import (download_coincidences, ReconstructESDCoincidences, HiSPARCStations)
14 from sapphire.utils import pbar
15 from sapphire.transformations.celestial import zenithazimuth_to_equatorial
16 import os
17 import time
18
19 t0 = time.time()
20
21 global file_name, DATAFILE, events, show_events
22
23 #STATIONS = [501, 502, 503, 505, 506, 508, 509, 510, 511] # science park
24 #STATIONS = [501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511] # science park cluster
25 #STATIONS = [2002, 2001, 2006, 2008, 2005, 2003, 2004] # Nijmegen
26 #STATIONS = [305, 304, 301] # 1,75 km uit elkaar
27
28
29 """
30 Waarschijnlijk moeten stations uit nijmegen gebruikt worden, deze zijn het oudst (data vanaf 2014).
31 """
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
256
```

```

33 def download_data(STATIONS, START, END, N, overwrite):
34     global DATAFILE, file_name
35     file_name = str(STATIONS)+'-'+str(START.date())+'-'+str(END.date())+'-N='+str(N)
36     DATAFILE = 'data\\'+file_name+'.h5'
37
38     if __name__ == '__main__':
39         if overwrite:
40             try:
41                 print('Deleting data file')
42                 os.remove(DATAFILE)
43             except:
44                 print('Could not delete file')
45             pass
46     #if 'data' not in globals(): # Blijft in globals zitten bij gebruik van notebooks
47     # 'a': Append; an existing file is opened for reading and writing, and if the file does not e
48     print('Opening data file')
49     data = tables.open_file(DATAFILE, 'a')
50     if '/coincidences' not in data:
51         print('Downloading coincidences')
52         download_coincidences(data, stations=STATIONS, start=START, end=END, n=N)
53         t1 = time.time()
54         print('Downloading coincidences took: %.2f s' % (t1-t0))
55         print("Aantal showers (coincidenties n=%d stations): %d " % (N, len(data.root.coincidence
56     if len(data.root.coincidences.coincidences) == 0:
57         print('Aantal showers == 0, exit()')
58         exit()
59     if '/coincidences/reconstructions' not in data:
60         print('Creating reconstructions')
61         rec = ReconstructESDCoincidences(data, overwrite=True)
62         rec.reconstruct_and_store()
63         t2 = time.time()
64         print('Creating reconstructions took: %.2f s' % (t2-t1))
65         print("Aantal reconstructions (reconstructions n=%d stations): %d " % (N, len(data.root.c

```

```

64         print('Creating reconstructions took: %.2f s' % (t2-t1))
65         print("Aantal reconstructions (reconstructions n=%d stations): %d " % (N, len(data.root.c
66         if len(data.root.coincidences.reconstructions.read()) == 0:
67             print('Aantel recs == 0, exit()')
68             exit()
69         data.close()
70
71     print('----- READY -----')

```

----- READY -----

Open databestand, transformeert GPS coördinaten naar celestrialcoördinaten, slaat de getransformeerde data punten (R.A. en DEC) op als csv.

```

1  def bewerk_data():
2      global DATAFILE, events
3      t3 = time.time()
4
5      try:
6          data = tables.open_file(DATAFILE, 'r+')
7      except:
8          print('Could not open data file, exit()')
9          exit()
10         pass
11
12     t4 = time.time()
13     print('Opening data took: %.5f' % (t4-t3))
14     print('Aantal coincidentities: %s' % len(data.root.coincidences.coincidences))
15     print("Aantal reconstructions: %d " % (len(data.root.coincidences.reconstructions)))
16
17     recs = data.root.coincidences.reconstructions.read()

```

```

18 data.close()
19 theta = recs['zenith']
20 recs = recs.compress(~np.isnan(theta))
21
22 t5 = time.time()
23 print('Removing NaNs from recs[theta] took: %.5f' % (t5-t4))
24
25 print("Aantal reconstructions : %.2f " % (len(recs)))
26
27 lla = HiSPARCStations(STATIONS).get_lla_coordinates()
28 lat, lon, alt = lla
29
30 t6 = time.time()
31 print('get_lla_coordinates() took: %.5f' % (t6-t5))
32
33 events = []
34 for rec in pbar(recs):
35     # omzetten naar 1 functie die matrix rekening doet? 1.5mil punten duurd 3 minuten
36     timestamp = rec['ext_timestamp'] / 1.e9
37     theta = rec['zenith']
38     phi = rec['azimuth']
39     r, d = zenithazimuth_to_equatorial(lat, lon, timestamp, theta, phi) # Zelf maken zodat het s
40     events.append((r-np.pi, d))
41 events = np.array(events)
42
43 t7 = time.time()
44 print('Creating events = np.array(events) took: %.5f' % (t7-t6))
45
46 ra = np.degrees(events[:, 0])
47
48 dec = np.degrees(events[:, 1])
49

```

```

50     t8 = time.time()
51     print('RA & DEC naar degrees omzetten took: %.5f' % (t8-t7))
52
53
54     t9 = time.time()
55     print('Total runtime: %.2f' % (t9-t8))
56
57     np.savetxt(file_name+'.csv', events, delimiter="\t")
58
59     print('-----READY-----')

```

Opent csv bestand, defineer de plot functie.

```

1  def plot_events_on_mollweide(events, filename=None):
2      # Plot events (een lijst van RA, DEC tuples) op een kaart in Mollweide projectie""
3
4      # Let op: De RA-as is gespiegeld. Alle RA coordinates worden gespiegeld (negatief)
5      # geplot.
6      # RA, DEC tuples van het steelpan asterisme in het sterrenbeeld Grote Beer
7      """
8      RA en DEC zijn vindbaar met Aladin.
9      Coördinaten daarvandaan pakken en dan een functie maken voor het omzetten naar graden?
10     """
11     global show_events
12     steelpan = np.array([[13.792222, 49.3167], [13.398889, 54.9333], [12.900556, 55.95],
13                          [12.257222, 57.0333], [11.896944, 53.7000], [11.030833, 56.3833],
14                          [11.062222, 61.7500], [12.257222, 57.0333]])
15
16     # Melkweg contouren als lijst van RA, DEC paren.
17     # `milky_way.npy` heeft *geen* verbinding tussen RA 23h59 en 0h00 en `milky_way_polar.npy` wel.
18     try:
19         mw_contour = np.load('data\\numpy\\milky_way.npy')
20         print('Loaded .npy files')

```



```

19     mw_contour = np.load('data\\numpy\\milky_way.npy')
20     print('Loaded .npy files')
21 except:
22     mw_contour = []
23     print('Failed to load .npy files')
24
25 events = np.array(events)
26
27 fig = plt.figure(figsize=(15, 15))
28 #fig = plt.figure()
29 ax = fig.add_subplot(111, projection="mollweide")
30
31     # plot milky way contours
32 for ra_mw, dec_mw in mw_contour:
33     ax.plot(-ra_mw, dec_mw, color='grey')
34
35     # Let op: De RA as is gespiegeld:
36 ax.set_xticklabels(['22', '20', '18', '16', '14', '12', '10', '8,0', '6,0', '4,0', '2,0'], fontsize=12)
37 ax.set_yticklabels(['-75', '-60', '-45', '-30', '-15', '0', '15', '30', '45', '60', '75'], fontsize=12)
38 ax.grid(True)
39 ax.tick_params(axis='x', colors='white')
40 ax.xaxis.label.set_color('white')
41 ax.xaxis.set_label_coords(.5, .49)
42
43 """
44 Plot bron:
45 https://python-graph-gallery.com/85-density-plot-with-matplotlib/
46 """
47 from scipy.stats import kde
48 x = -events[:, 0]
49 y = events[:, 1]

```

```

49 y = events[:, 1]
50
51
52 # Evaluate a gaussian kde on a regular grid of nbins x nbins over data extents
53 t10 = time.time()
54
55 nbins = 200
56 k = kde.gaussian_kde([x, y])
57
58 t11 = time.time()
59 print('kde.gaussian_kde: %.2f s' % (t11-t10))
60
61 xi, yi = np.mgrid[x.min():x.max():nbins * 1j, y.min():y.max():nbins * 1j]
62
63 t12 = time.time()
64 print('np.mgrid: %.2f s' % (t12-t11))
65
66 zi = k(np.vstack([xi.flatten(), yi.flatten()]))
67
68 t13 = time.time()
69 print('np.vstack: %.2f s' % (t13-t12))
70 """
71 Colormaps: https://matplotlib.org/examples/color/colormaps\_reference.html
72 jet
73
74 """
75 plt.pcolormesh(xi, yi, zi.reshape(xi.shape), cmap=plt.cm.jet, alpha=1)
76
77 t14 = time.time()
78 print(' plt.pcolormesh: %.2f s' % (t14-t13))
79
80 plt.colorbar(shrink=0.5, pad=0.01)
81 if show_events:
82     ax.scatter(-events[:, 0], events[:, 1], marker='x', alpha=.5, color='grey', label='events')

```

```

82     ax.scatter(-events[:, 0], events[:, 1], marker='x', alpha=.5, color='grey', label='events')
83
84     # plot steelpan in UMa
85     ra_uma = np.radians(steelpan[:, 0] / 24 * 360 - 180.)
86     dec_uma = np.radians(steelpan[:, 1])
87     ax.plot(-ra_uma, dec_uma, color='white')
88     ax.scatter(-ra_uma, dec_uma, color='white', s=10)
89
90     # plot Polaris
91     #ax.scatter(0., np.radians(90.), color='white', marker='*')
92     #ax.text(np.radians(2.), np.radians(78.), 'Polaris', color='white', fontsize='10')
93
94     # plot Galactic Center (RA 17h45, DEC -29)
95     #ax.scatter(-np.radians(17.75 / 24 * 360 - 180.), np.radians(-29), color='white', marker='*')
96     #ax.text(-np.radians(17.75 / 24 * 360 - 180. + 2.), np.radians(-29 - 6.), 'Galactic Center', color
97
98     plt.grid(alpha=.3)
99     plt.xlabel('Rechte klimming [h]', fontsize='large')
100    plt.ylabel('Declinatie [°]', fontsize='large')
101    plt.tight_layout()
102    #plt.legend()
103
104    if filename:
105        plt.savefig(filename, dpi=200, bbox_inches='tight')
106    plt.show()
107
108    print('-----READY-----')

```

```
-----READY-----
```

```
-----READY-----

Stel download gegevens in, download de data.

In [34]: 1 STATIONS = [501, 502, 508, 510, 511]
          2 START = datetime(2018, 3, 1)
          3 END = datetime(2018, 3, 10)
          4 N = 5
          5 force_datafile_overwrite = False
          6
          7 #print(str(STATIONS)+'- '+str(START.date())+'-'+str(END.date())+'-N='+str(N))
          8 download_data(STATIONS, START, END, N, force_datafile_overwrite)

Opening data file

Bewerk de data

In [35]: 1 bewerk_data()

Opening data took: 0.00150
Aantal coincidenties: 583
Aantal reconstructions: 583
Removing NaNs from recs[theta] took: 0.03710
Aantal reconstructions : 578.00

100%|#####|Time: 0:00:00

get_lla_coordinates() took: 4.84765
Creating events = np.array(events) took: 0.05010
RA & DEC naar degrees omzetten took: 0.00000
Total runtime: 0.00
-----READY-----

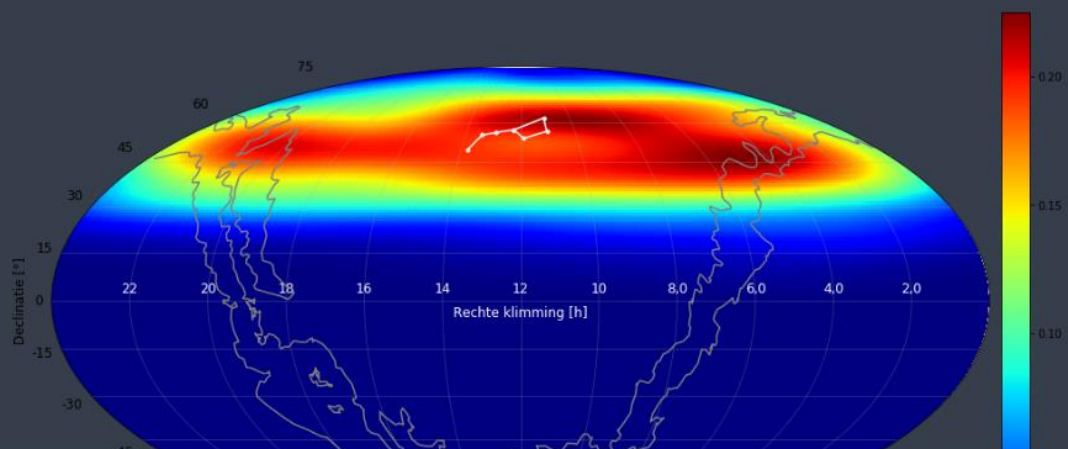
Maak de plot.

In [36]: 1 show_events = False
```

Maak de plot.

```
In [36]: 1 show_events = False
2 events = np.loadtxt(file_name+".csv")
3 events = np.append(events, [[-1.57, -1.57]], axis=0) # een punt toevoegen zodat de gehele plot ingekl
4 t15 = time.time()
5
6 plot_events_on_mollweide(events, filename='figuren\\'+file_name+'.png')
7
8 t16 = time.time()
9 print('Plotting took: %.2f s' % (t16-t15))
```

Loaded .npy files
kde.gaussian_kde: 0.00 s
np.mgrid: 0.00 s
np.vstack: 0.40 s
plt.pcolormesh: 0.00 s



Plotting took: 2.59 s

```
In [ ]: 1
```

```
In [ ]: 1
```