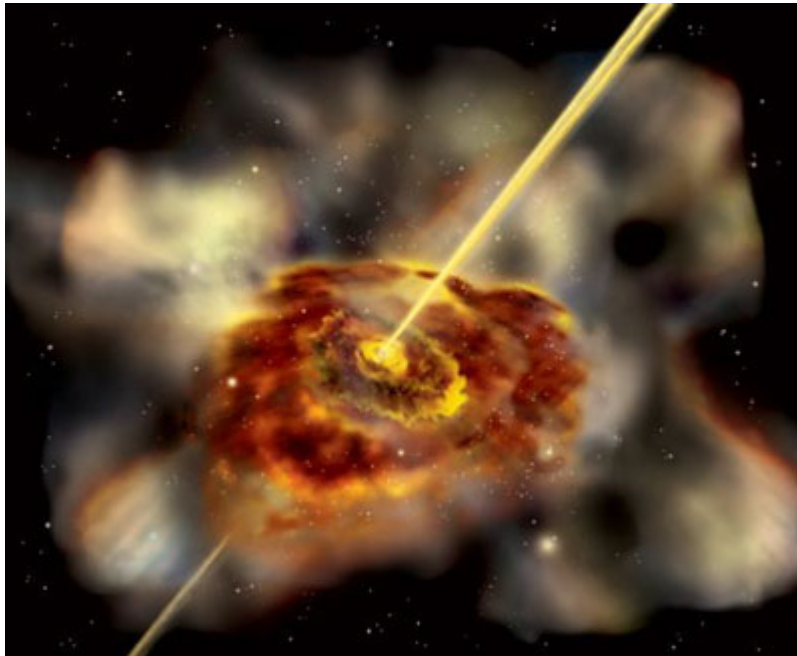


Profielwerkstuk Kosmische straling



Luuk Hermans, V6a

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
Inleiding	4
Beantwoording Hoofdvraag en deelvragen:	6
Deelvragen:	6
Wat is de theorie achter de kosmische straling?	6
Wat is de theorie achter het meetstelsel?	8
Hoe bouwt men een dergelijk meetstation, wat voor technieken worden er voor de constructie gebruikt en uit welke onderdelen bestaat deze constructie?	10
Hoe werken de apparaten, hoe gaat men ermee om tijdens proeven en hoe moeten de meetresultaten geïnterpreteerd worden?.....	13
Hoofdvraag:	14
Voortgangsverslagen	16
Verslag project kosmische straling	16
1. Dag één: (12 September)	16
2. Dag twee: (26 september)	16
3. Dag drie: (1 oktober)	17
4. Dag vier: (15 oktober).....	17
Verslag project kosmische straling	18
5. Dag 5: (29 oktober)	18
EXO Natuurkunde.....	19
Inleiding.....	19
Theorie	19
De shower:	19
Muonen:.....	19
Gedistribueerd meetstation:	20
Het Meetstation.....	20
Scintillator:	20
Lichtgeleider:	20
Fotomultiplier (PMT):	21
Scintillator Signal Follower (SSF):	21
Data acquisitie systeem (DAQ):	21
Global Positioning Systeem (GPS):	21
De bouw en testfase	22
Het inpakken van de scintillator:	22
Het solderen van de PMT:	22
Het lijmen(scintillator aan lichtgeleider, lichtgeleider aan PMT):.....	23
Het doormeten:	23
Het controleren van de SSF:.....	24
Persoonlijke beschouwing	25
Bronvermelding.....	26

Inleiding

Dit profielwerkstuk gaat over de kennis die ik heb opgedaan en de dingen die ik heb meegemaakt in de afdeling subatomaire fysica in het Buys-Ballot gebouw van de universiteit van Utrecht, in de periode van september 2003 tot januari 2004. Ik ben daar samen met Wouter Marra naartoe gestuurd door mijn leraar natuurkunde, drs. T. Oediet Doebe, om deel te nemen aan een project, **hisparc** genaamd. Tijdens de duur van dit project hebben wij samen met vijf leerlingen uit het 6vwo van het Zeister lyceum en het Christelijk gymnasium in Utrecht onder leiding van professor Gert-Jan Nooren de basis gelegd voor de bouw van een meetstation wat zogenaamde **muonen** kan meten en binnenkort op het dak van het universiteitsgebouw geplaatst zal worden.

De theorie betreffende dit principe is van universitair niveau en zal (beknopt) besproken worden in het antwoord op een van de deelvragen. De opzet van dit profielwerkstuk is enigszins afwijkend maar is goedgekeurd door mijn leraar natuurkunde, meneer Oediet Doebe. Het centrale gedeelte van het profielwerkstuk wordt gevormd door het stuk 'antwoorden op hoofd- en deelvragen' dat is geïnspireerd op de opzet van mijn profielwerkstuk die eind november is goedgekeurd door meneer Oediet Doebe. De antwoorden op de gestelde vragen omvatten vrijwel het hele project (voor zover ik daaraan heb deelgenomen) en tonen al mijn bevindingen en verkregen kennis op de universiteit van Utrecht. Verder zijn ook van groot belang de twee verslagen die ik in de betreffende periode over het project heb geschreven, en mijn eigen beschouwing van het project.

Het project:

Hisparc is een internationaal initiatief dat er op gericht is leerlingen van middelbare scholen te laten werken aan een groot netwerk van meetstations, dat uiteindelijk informatie moet verschaffen over zogenaamde **hoogenergetische deeltjes**, waar weinig over bekend is. Het problematische aan deze deeltjes is dat men ze waarneemt zonder te weten waarom. Deze deeltjes zouden de aarde namelijk niet mogen bereiken. Maar toch meet men ze. Men zoekt toevlucht bij middelbare scholen vanwege de gunstige geografische ligging van deze scholen ten opzichte van elkaar. De onderlinge afstand van deze scholen, nooit veel meer dan een paar kilometer, stelt hisparc in staat om een zogenaamde array van meetstations op te bouwen om vervolgens over een uitgestrekt gebied muonen, afkomstig van zogenaamde **showers** waar te nemen. Het ontstaan van deze showers is een ingewikkeld proces dat later besproken zal worden, maar er kan alvast gezegd worden dat ze worden veroorzaakt door de eerder besproken hoogenergetische deeltjes. Als deze hoogenergetische deeltjes de aardse atmosfeer binnendringen botsen ze op deeltjes uit de atmosfeer, waardoor er een shower ontstaat, bestaande uit onder andere muonen. De dichtheid van de deeltjes in de shower en de grootte ervan, alsmede de richting kan allemaal berekend worden met behulp van deze array. Dit zou ons veel kunnen vertellen over de herkomst van de hoogenergetische deeltjes.

In Nijmegen zijn de eerste detectoren al klaar en in gebruik, en de groep waar ik deel van uitmaakte heeft de basis gelegd voor het aanleggen van een nieuw netwerk van detectoren rondom de stad Utrecht. Wij hebben de detector gebouwd en getest, en nu is het aan de volgende 'generatie' leerlingen de beurt om de eerste detector op het dak te plaatsen.

Beantwoording Hoofdvraag en deelvragen:

Deelvragen en Hoofdvraag

Deelvragen:

Wat is de theorie achter de kosmische straling?

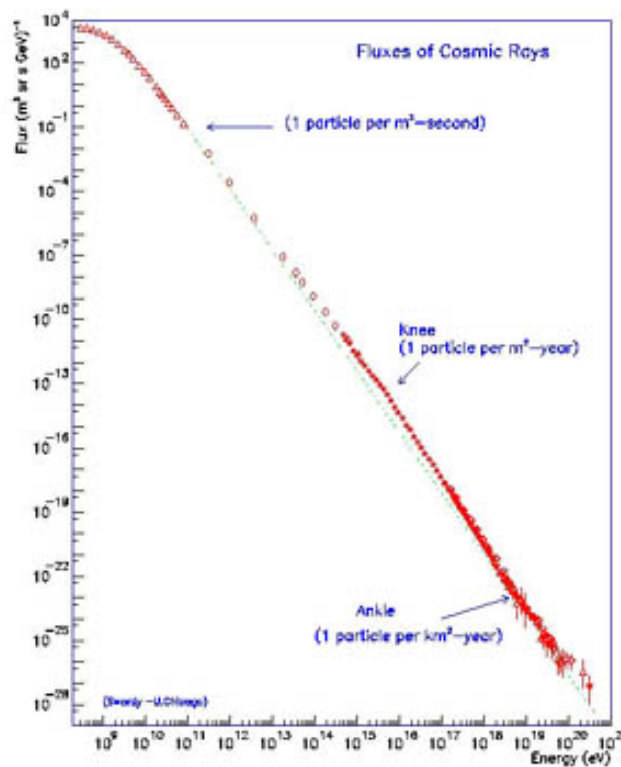
- De aarde wordt voortdurend gebombardeerd door energetische deeltjes en straling uit de ruimte; in het elektromagnetische spectrum bereiken ons b.v. licht, microgolven en gammastraling. Daarnaast ontvangen we grote aantallen neutrino's van de zon en andere sterren, hoewel die in een aardse detector slechts uiterst zwakke effecten veroorzaken en dus moeilijk waar te nemen zijn.

Een derde component van de kosmische straling bestaat uit geladen deeltjes, vooral protonen en zwaardere atoomkernen. De herkomst van deze straling is divers, en niet in alle gevallen bekend. Waterstof en helium zijn in het vroege heelal gemaakt, en vormen samen meer dan 99% van de gewone materie in het heelal. Atoomkernen zwaarder dan helium worden alleen in sterren gemaakt; ze kunnen de interstellaire ruimte ingeslingerd worden tijdens intense energetische gebeurtenissen zoals de implosie van een massieve ster, zichtbaar als een supernova. De mechanismen waardoor geladen deeltjes in de ruimte versneld worden zijn slechts ten dele bekend. Schokgolven, die bij sterimplosies ontstaan, of in jetstromen gemaakt door actieve melkwegkernen kunnen als deeltjesversnellers werken. Ook bij het uiteenvallen van een instabiel zwaar deeltje in lichtere kunnen de brokstukken een grote energie meekrijgen.

De aantallen geladen deeltjes van verschillende energie die ons bereiken zijn weergegeven in figuur 1. De energie is daar uitgedrukt in aantallen elektronvolt, de energie die een elektron krijgt als het een potentiaalverschil van 1 volt doorloopt. Het is duidelijk dat het aantal deeltjes uit de ruimte bij toenemende energie zeer snel afneemt; dit geldt in het bijzonder voor de deeltjes met de hoogste energie, meer dan 10^{15} elektronvolt per kerndeeltje. Een reden waarom de aantallen deeltjes in dit energiebereik sneller afneemt kan zijn, dat deze deeltjes in staat zijn uit ons melkwegstelsel te ontsnappen. Deeltjes met minder energie worden gevangen gehouden door het magnetisch veld van ons melkwegstelsel, ook al is dit zeer zwak (~ 3 microgauss). Door het rondcirkelen van deze deeltjes in het galactisch magneetveld is het niet mogelijk vast te stellen waar deze deeltjes vandaan komen en waar ze gemaakt worden.

De deeltjes met de hoogste energie (meer dan 10^{15} elektronvolt) kunnen wel naar de intergalactische ruimte ontsnappen. Omgekeerd komen sommige hoog-energetische deeltjes vanuit andere sterrenstelsels door de intergalactische ruimte tot ons. Van deze deeltjes, waarvan de baan niet sterk wordt afgebogen, kunnen we misschien wel iets ontdekken over hun oorsprong. De flux van deze deeltjes boven in de atmosfeer is echter minder dan 1 deeltje per vierkante meter per jaar. In principe worden er geen deeltjes verwacht met een energie van meer dan 10^{19} elektronvolt, omdat protonen in dat geval hun energie snel verliezen door wisselwerkingen met de kosmische microgolfachtergrond.

Het effect van een hoogenergetisch deeltje dat onze atmosfeer binnendringt is het maken van een lawine van secundaire deeltjes: fotonen, elektronen en hun zwaardere verwanten, de muonen. Deze verspreiden zich over een groot oppervlak, en kunnen worden waargenomen door een netwerk van detectoren op aarde. Een dergelijke waarneming is natuurlijk indirect, maar uit het dichtheidsprofiel en de aankomsttijden van de lawine van secundaire deeltjes kan men de energie en richting van het oorspronkelijke (primaire) deeltje reconstrueren.



het energiespectrum van kosmische geladen deeltjes. De frequentie is uitgezet tegen de lading.

Wat is de theorie achter het meetsysteem?

- Voor de detectie van de geladen deeltjes die ontstaan zijn tijdens botsingen van hoog energetische kosmische stralen met onze atmosfeer, wordt gebruik gemaakt van scintillators.

Een scintillator is een glasachtige plaat met een eigenschap die er voor zorgt dat als er een deeltje (zoals een muon) doorheen schiet het een kleine hoeveelheid energie afstaat, in de vorm van licht.

Het oppervlak van de scintillator is extreem vlak en heeft een brekingsindex met een erg grote grenshoek. Deze twee factoren verzekeren een bijna totale reflectie van al het licht binnen de scintillator. Als er ergens een onregelmatigheid te vinden is zorgt het eromheen gewikkelde aluminiumfolie alsnog voor reflectie. De reden dat het scintillatormateriaal niet aangeraakt mag worden is ten gevolge van het vet dat de vingers dan zullen achterlaten op de plaat. Dit verstoort de 'normale' breking van het licht wat signaalverlies tot gevolg heeft.

Het grote probleem van scintillatoren is dat het licht dat afgestaan wordt door muonen niet verschilt van het licht van buitenaf. Verderop in het systeem zal al het licht vanuit de scintillator een signaal veroorzaken. Dit is niet gewenst. Daarom zijn de scintillatoren (twee) in enkele lagen landbouwplastic gewikkeld, over het eerder genoemde aluminiumfolie heen. De dikte van de scintillator maakt geen verschil in de uiteindelijke meting, maar het oppervlak van de plaat is wel van invloed, immers, door een grotere plaat vallen nou eenmaal meer muonen.

De reden dat er twee scintillatorplaten gebruikt worden per meetstation is omdat er heel veel deeltjes door de platen heen gaan. Muonen ontstaan namelijk niet alleen tijdens showers, maar kunnen ook ontsnappen uit beton, om maar een voorbeeld te noemen. Omdat men alleen geïnteresseerd is in de muonen die afkomstig zijn van showers neemt men twee scintillatorplaten, ieder met een oppervlakte van een halve vierkante meter, en plaatst men deze naast elkaar, op een afstand van enkele meters. Deze platen worden dan verbonden met een logische en-poort. Het signaal moet dus afkomstig zijn van beide scintillatoren, zodat het de en-poort kan passeren en verder verwerkt kan worden.

Het lichtflitsje dat afgestaan wordt door de scintillator moet echter eerst nog omgezet worden in een elektrisch signaal. Hier zorgen de fotomultiplier en de lichtgeleider voor.

De lichtgeleider is een aan de scintillator vastgeplakte glazen plaat, die het licht wat afgestaan is door het muon transporteert naar de fotomultiplier. De lichtgeleider moet dus licht kunnen transporteren (naar zichzelf terugkaatsen, zodat het niet ontsnapt), en het moet licht kunnen leiden van een groot oppervlak (uiteinde scintillator) naar een klein oppervlak (uiteinde fotobuis). De eerste eigenschap uit zich in de vorm van de lichtgeleider, deze is immers plat, en driehoekig, met een botte kop. Hierdoor komt het licht in een kleiner oppervlak samen. De tweede eigenschap heeft te maken met het materiaal waarvan de lichtgeleider gemaakt is, dit materiaal is perspex.

De lichtgeleider is gelijmd op de scintillator om te zorgen dat het licht niet terug richting de scintillator kaatst, en zodat de scintillator en de lichtgeleider stevig op elkaar zitten. Aan de andere (kleine) kant van de lichtgeleider is de fotomultiplier gelijmd, wat dus dezelfde voordelen heeft.

De fotomultiplier of PMT is een apparaat dat van een lichtflits een elektrisch signaal maakt. Als een foton in het 'venster' van de PMT terecht komt dan maakt een elektron los uit een fotokathode. Dit elektron wordt door de focus-elektrode de *dynode-trap* binnen geleid.

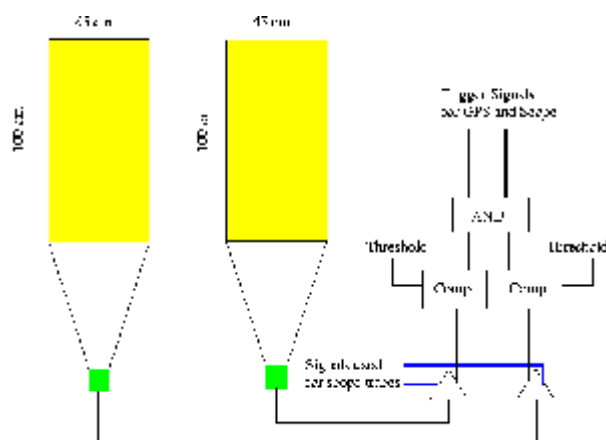
Door het aanwezige elektro-magnetische veld wordt het elektron versneld alvorens in te slaan op de eerste dynode. Hier maakt het meerdere zogenaamde *secundaire elektronen* vrij. Deze worden op hun beurt weer aangetrokken door de volgende dynode en versneld.

Zo worden er bij elke dynode meer elektronen vrij gemaakt totdat alle elektronen bij de laatste dynode worden gevangen door de anode. Het grote aantal elektronen dat nu beschikbaar is, is genoeg om een meetbare elektrische spanning te genereren. Dit in tegenstelling tot het enkele foton waar alles mee begon.

Er is hoogspanning nodig om de elektronen uit de fotokathode te krijgen, en om een magnetisch veld te vormen waarin de vrijgekomen elektronen dan worden versneld.

Het signaal is er nu een dat via de logische en-poort in het DAQ-systeem terecht kan komen en daar kan worden onderzocht. Door nu de gegevens van de verschillende meetstations te correleren, kunnen deeltjeslawines onderzocht worden, die zich over een oppervlak van honderden vierkante kilometers uitstrekken.

Nu kan de grootte van de shower bepaald worden, door het 'getroffen' oppervlak en de deeltjesdichtheid te bepalen. De hoek van het hoogenergetische deeltje kan ook bepaald worden door het tijdsverschil tussen de signalen te meten. Dit gebeurt met behulp van GPS.



Hoe bouwt men een dergelijk meetstation, wat voor technieken worden er voor de constructie gebruikt en uit welke onderdelen bestaat deze constructie?

- De bouw van het meetstation kan onderverdeeld worden in de volgende fases:

1. Het inpakken van de scintillator.

De scintillator moet het licht totaal kunnen reflecteren om het binnen te houden. Aangezien dit niet altijd gegarandeerd kan worden moet de scintillator worden ingepakt met reflecterend aluminiumfolie. De scintillator is ook gevoelig voor licht van buitenaf, en moet hiervan afgeschermd worden door ingepakt te worden met landbouwplastic (zwart). Als dit niet zou gebeuren zouden fotonen van zonlicht of kunstlicht bij de PMT terecht komen, en zo een signaal afgeven.



2. Het inpakken van de lichtgeleider.

De lichtgeleider moet ook worden ingepakt, omdat ook deze totaal moet kunnen reflecteren en niet blootgesteld mag worden aan licht van buitenaf.



3. Het solderen van de fotomultiplier of fotobuis.

Het externe elektrische systeem van de fotobuis, onder andere de stroomtoevoer wordt niet kant en klaar geleverd en moet dus zelf worden gemaakt. Bij ons geval ging dat als volgt:

Eerst werd er voor twee kabels gezorgd, een voor de hoogspanning (voeding) en een voor het signaal zelf. Deze kabels bestonden uit een 5-pins connector aan de ene kant en een coax aansluiting en twee banaanstekkers aan de andere kant.

Hierna werden er 5-pins connectors aan de PMT's gesoldeerd.

Dit was niet de bedoeling, en daarom werden de connectoren losgehaald, de coxaansluiting direct op de PMT gesoldeerd, en zijn alleen de voedingsnoeren via de 5-pins connector gesoldeerd. Hier zijn ook draaiweerstand in bevestigd, voor het aanpassen van de stroomsterkte.



een kapotte PMT

4. Het lijmen van de scintillator aan de lichtgeleider en de lichtgeleider aan de fotobuis.

Hoe makkelijk het ook mag klinken. Dit is veruit de moeilijkste en meest risicovolle onderneming van het project. Eerst moeten de verschillende soorten lijm allemaal getest worden, en moet de hele procedure een paar keer geoefend worden.

Het lijmen van de componenten moet gebeuren met behulp van een lijmmal die op een tafel geplaatst wordt. De scintillator moet op de grond staan, en enigszins tegen de lijmmal aanleunen, zodat hij vastgemaakt kan worden, en niet meer om kan vallen. Hierna moet de lichtgeleider tegen de lijmmal aangezet worden, zodat hij, nadat de lijm is aangebracht op de scintillator kan steunen. Hierna moet de fotobuis bovenop de lichtgeleider geplaatst worden en op dezelfde manier worden vastgelijmd.



Een leerling uit Nijmegen plakt een scintillator

Na deze handelingen moeten de twee meetelementen in skiboxen gedaan worden, zodat ze volledig afgeschermd zijn. De feitelijke constructie is nu afgerond, maar voor voltooiing van het project of in ieder geval de hier besproken fase van het project moet nog veel meer gebeuren. De scintillatoren moeten nog getest worden met behulp van kleine test-scintillatoren, de fotobuizen moeten worden getest en de (voorlopige) elektrische apparatuur moet nog worden getest en afgesteld. Deze handelingen zullen nu besproken worden.

Hoe werken de apparaten, hoe gaat men ermee om tijdens proeven en hoe moeten de meetresultaten geïnterpreteerd worden?

- Jammer genoeg is het project niet zo snel gevorderd dat ik deze vraag geheel kan beantwoorden, maar de werking van bepaalde (tijdelijke) elektronische apparaten kan al wel uitgelegd worden.

Bij de elektronische apparaten die de scintillator omringen draait het om de scintillator signal follower of SSF. Dit kastje bevat een aantal simpele logische systemen speciaal aangepast voor gebruik in combinatie met scintillatoren. De meest wezenlijke gegevens die men in de vroege dagen van het project kon vergaren hebben te maken met het aantal coincidenties (beide scintillatoren geven gelijktijdig een signaal) per tijdseenheid. Op het SSF kastje bevond zich dan ook een teller en een en-poort, de benodigdheden voor deze 'proef'. Verder was het mogelijk het signaal door te leiden naar een oscilloscoop, om ze goed te kunnen bekijken.

Toen de grote scintillatoren eindelijk klaar waren voor gebruik konden we ze testen met behulp van de kleine scintillatoren die gebruikt waren voor de proeven die in de vorige regels beschreven staan. De bedoeling is dat de SSF een puls geeft op het moment dat de beide aangesloten scintillatoren tegelijk een muon detecteren. Hiervoor is getest met behulp van twee kleine scintillatoren, die in de SSF en in een oscilloscoop waren geplugd. Er werd eerst gekeken of de SSF een signaal gaf als beide scintillators een signaal detecteerden, hierna werd de oscilloscoop getriggerd op het signaal van de SSF. Er werd toen geen signaal meer waar genomen, dit was te verhelpen door de minimale pulshoogte waarop de SSF triggerde aan te passen.

In ongeveer dezelfde configuratie (twee kleine scintillatoren en een grote) is het signaalverlies van de grote scintillator getest. De twee kleine scintillatoren werden boven elkaar geplaatst (muon moet beide passeren voor coincidentie) en vervolgens op verschillende plaatsen boven de grote scintillator gehouden. Zo kon men zien of muonen die de scintillator aan het uiteinde raakten ook werden waargenomen.

Hoofdvraag:

Hoe construeert men een meetsysteem dat muonen kan 'meten', hoe gaat men om met (de meetresultaten van) een dergelijk apparaat, en hoe kan men hieruit conclusies trekken over de grootte van de door het primaire deeltje veroorzaakte 'shower'?

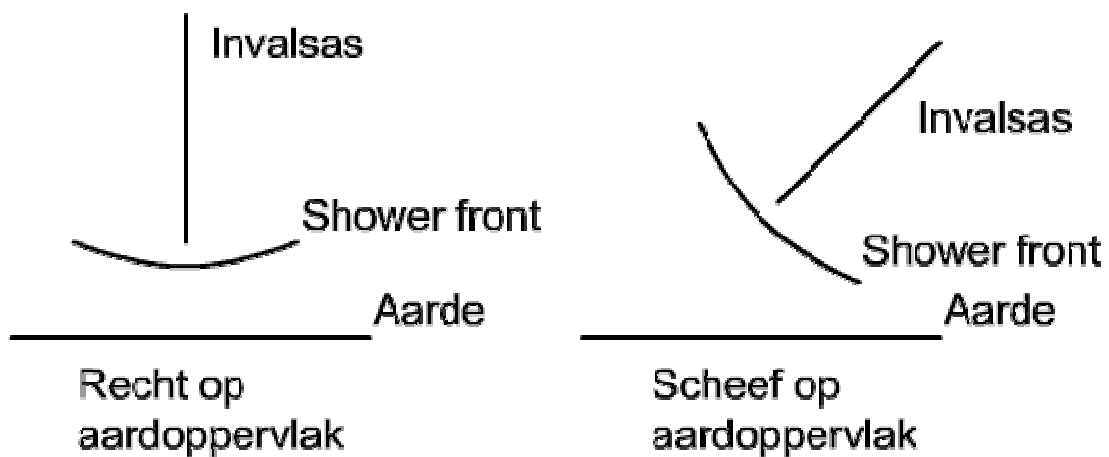
- Het eerste deel van deze vraag is al beantwoord in deelvraag drie, en met het tweede deel van deze vraag heb ik mij nog niet bezig gehouden, ik kan er echter wel al het volgende over zeggen:

De meetresultaten zullen, zodra het meetstation af is, lokaal worden opgeslagen en dan met het DAQ samen met de precieze tijdsaanduiding worden verzonden. Het is dus de bedoeling dat de meetresultaten eerst lokaal geanalyseerd worden en daarna worden verstuurd met het DAQ, zodat er informatie verkregen kan worden over de grootte van de shower.

De grootte van de piek veroorzaakt door de fotobuis is alleen lokaal van betekenis, dit heeft te maken met het feit dat ieder meetstation tijdens de bouw op een willekeurige manier anders wordt afgesteld, en dus ook een ander signaal zal geven. Lokaal zou het misschien wel enige informatie kunnen bevatten over de energie van de hoogenergetische kosmische straling.

Over de grootte van de shower, en de richting van het hoogenergetische deeltje valt wel veel te zeggen als men de beschikking heeft over een array van detectoren. De grootte van de shower zal namelijk afhankelijk zijn van de energie van het deeltje, en met een netwerk van meetstations die allemaal op elkaar zijn aangesloten kan men kijken, dankzij de precieze tijdsbepaling mogelijk gemaakt door de GPS, welke meetstations op hetzelfde moment een coincidentie meegemaakt hebben. Weten we dit, dan weten we ook welk oppervlak de shower ongeveer zou moeten hebben bestreken, en daarmee kan dan de energie van de kosmische straling achterhaald worden.

Het laatste, en misschien wel meest spectaculaire is het feit dat ook de richting van de kosmische straling bepaald kan worden. Het is namelijk zo dat de shower ruwweg in het verlengde ligt van de kosmische straling, en dus ongeveer dezelfde richting heeft.



Mocht een deeltje schuin de atmosfeer invallen, dus niet loodrecht met het aardoppervlak, dan zouden de detectoren die de shower waarnemen dus niet op hetzelfde moment een signaal afgeven, omdat de muonen ze niet op hetzelfde moment zouden bereiken. Vanwege de precieze tijdsbepaling van de GPS kan dit hypothetische tijdsverschil gemeten worden, en zo zou, met behulp van de snelheid van de deeltjes (99% van de lichtsnelheid) en de onderlinge afstand tussen de meetstations bepaald kunnen worden waar de straling vandaan kwam.

Voortgangsverslagen

Dit zijn de twee voortgangsverslagen die ik heb geschreven tijdens het project, ze waren bedoeld als informatie voor meneer Oediet Doebe en de leerlingen van V5, maar ook als onderdeel van mijn profielwerkstuk.

Verslag project kosmische straling

Eerste vier 'projectdagen'

1. Dag één: (12 September)

Na een paar problemen te hebben gehad met het vinden van professor Nooren, de leider van het project, woonden wij (Wouter Marra, Luuk Hermans en drs. Oediet Doebe) een korte bespreking bij waarin de basis van het project besproken werd, en waarin wij de andere deelnemers zouden ontmoeten. Na de verhelderende uitleg gingen we naar de ruimte waar wij met vijf andere leerlingen (drie uit Zeist, twee uit Utrecht) verder zouden werken aan het project. Hier werden ons enkele apparaten getoond die wij zouden gebruiken voor de bouw van het meetstation. Deze onderdelen waren: 2 scintillatoren, 2 lichtgeleiders, 2 PMT's, en een deel van het uiteindelijke DAQ (data acquisitie) systeem. Voor een uitgebreide beschrijving van de werking van deze apparaten, zie www.hisparc.nl.

2. Dag twee: (26 september)

Het echte werk. De eerste van de twee scintillatoren werd ingepakt, deze erg kwetsbare platen moeten namelijk met de uiterste zorg lichtdicht worden gemaakt. Verder werd het schakelsysteem van de PMT's gesoldeerd, en werd er uitvoerig getest met twee van de drie testscintillatoren. Deze kleine en niet echt effectieve meetsystemen moesten namelijk nodig klaargemaakt worden voor toekomstige metingen, waarbij deze apparaatjes gebruikt zullen worden als ijk-instrumenten. Verder bleek de lijmverbinding van één van deze testscintillatoren verbroken te zijn, waardoor de scintillator zelf niet meer verbonden was met de lichtgeleider, en het zo dus een vrij onmogelijke opgave werd voor de fotonen, afgestaan door de muonen, de PMT te bereiken. Kortom, hij was kapot. Dit was een prachtige kans om de lijm en de lijmtechniek uit te proberen, voordat deze op de 'echte' scintillatoren gebruikt zouden worden, hierbij was namelijk geen ruimte voor fouten.

De scintillator en lichtgeleider werden bevrijd uit hun lichtdichte verpakking en werden gelijmd. Een ware triomf, het ging als een droom.

3. Dag drie: (1 oktober)

Er was weer veel te doen. Wij, Wouter Marra en Luuk Hermans, moesten de PMT's solderen, alweer, want er bleek een fout te zijn gemaakt tijdens de eerste soldeer pogingen. Verder werden er weer tests verricht met de testscintillatoren, en met de nieuwe PMT's, ook werd de andere scintillator ingepakt, net zoals de twee lichtgeleiders. Het resultaat van de lijmpoging van een paar dagen terug was naar behoren, het zag er goed uit.

4. Dag vier: (15 oktober)

Deze dag werd besteed aan het testen van de scintillatoren (alweer). Omdat de meeste mensen op vakantie waren kon er niet zoveel gedaan worden. Dus gingen we maar een bezoekje plegen aan de deeltjesversneller op de universiteit. Er bleek nog een testscintillator gebroken te zijn, en voor het plakken van dit apparaat zouden we een 'echte' lijm, een tweecomponentenlijm gebruiken, die dan ook weer gebruikt zou worden voor het lijmen van de grote scintillatoren. De lijm bestaat uit een lijmstof, die vloeibaar is totdat hij in aanraking komt met de activator, in ons geval was deze 1000* verdund in methanol. Het plan was om de beide raakvlakken (van scintillator en lichtgeleider) in te smeren met respectievelijk de activator en de lijmstof, zodat de scintillator zonder dat er gehaast moest worden bovenop de lichtgeleider geplaatst kon worden. In principe zou het moeten werken, maar een paar uur later zou blijken hoe weinig van deze theorie in de praktijk terecht zou komen. De laatste paar minuten van de vierde dag brachten we door in de stofruimte, waar de scintillator gelijmd zou worden. Het activator-component werd op de scintillator aangebracht, maar een kleine hoeveelheid verdampte meteen, een vrij grote hoeveelheid moest dus gebruikt worden. De vloeistof sijpelde meteen op het gladde oppervlak van deze scintillator, het oppervlak met de perfecte breekindex. Hetzelfde oppervlak dat wij niet eens konden aanraken, omdat dan de lichtbreking verstoord zou worden. Nadat de scintillator op de lichtgeleider geplaatst was diende het volgende probleem zich aan, terwijl de vorige lijm er drie uur over deed om ook maar een beetje te drogen, was in dit geval de verbinding na enkele seconden namelijk al keihard, waardoor de scintillator niet eens goed bovenop de lichtgeleider geplaatst kon worden.

Tot overmaat van ramp bleek de lijm een wit vlies te vormen, het was dus helemaal niet doorzichtig. Samengevat, de ondertussen niet meer werkzame scintillator stond scheef op de lichtgeleider, terwijl licht niet via de scintillator de lichtgeleider kon bereiken. We waren erg blij dat we deze foutjes in konden zien voordat het grote meetstation aan de beurt was, dit had vast en zeker een erg grote vertraging van het project opgeleverd.

Verslag project kosmische straling

De vijfde projectdag

5. Dag 5: (29 oktober)

Het uur van de waarheid was aangebroken. Na twee kleine testscintillatoren te hebben geplakt, was het nu eindelijk de beurt voor het eerste van de twee delen van het meetstation.

Van tevoren werden de verschillende soorten lijm nog snel getest, door allemaal kleine 'blokjes' van een scintillator op een groter blok perspex (materiaal waarvan de lichtgeleider is gemaakt) te lijmen, en ze er daarna met een arm van een bepaalde grootte af te trekken, met behulp van een veerunster. Natuurlijk gebeurde dit minstens 24 uur nadat het lijmen plaatsvond, hier waren wij dus niet bij.

Er werd bepaald welke lijm gebruikt moest worden, tegelijkertijd werden de lijmoppervlakten van de eerste scintillator en de eerste lichtgeleider geschuurd. De lijmopstelling is nogal moeilijk te beschrijven, maar ik zal een poging doen. De scintillator stond op de grond met de kleinste zijde boven (en onder), en leunde met het platte vlak tegen een tafel, en zat verder met lijmklemmen vast aan een houten ondersteuning die op de tafel stond, zodat de scintillator recht omhoog stond. Hier bovenop werd de lichtgeleider gezet, op zo een manier dat ook deze recht omhoog stond. De lichtgeleider werd tegen de ondersteuning bevestigd met behulp van wat elastieken. Misschien is dit helemaal niet te begrijpen, maar het werkte wel, in ieder geval zijn er binnenkort foto's beschikbaar, die dit allemaal zullen verduidelijken.

Of het lijmen succesvol geweest is, weten we volgende week pas*.

*het lijmen was inderdaad succesvol

EXO Natuurkunde

Door Wouter Marra en Luuk Hermans

Inleiding

HISPARC is een project waaraan de universiteit van Utrecht onlangs mee is begonnen. Bij dit project gaat het erom kosmische straling te meten. Deze straling wordt gemeten met de meetapparatuur die wij (Wouter Marra en Luuk Hermans) samen met 5 leerlingen van andere scholen hebben gemaakt.

Na het luisteren naar wat uitleg van professor Nooren over de theorie van de kosmische straling en van de meetapparatuur zijn we onder begeleiding het systeem in elkaar gaan zetten.

Het uiteindelijke doel is om de opstelling boven op het dak van het universiteitsgebouw te zetten en dit apparaat te linken met andere opstellingen die op de daken van de omringende middelbare scholen geplaatst zullen worden.

Theorie

De shower:

Een shower is een 'regen' van deeltjes die ontstaat doordat een hoog energetisch deeltje botst met een deeltje uit de aardse atmosfeer. Dit hoog energetische deeltje valt dan uiteen in kleinere deeltjes met minder energie, dit kunnen muonen, elektronen, neutronen maar ook fotonen zijn. Hoe hoger de energie van het oorspronkelijke deeltje, des te hoger de uiteindelijke hoeveelheid deeltjes.

De deeltjes met minder energie botsen weer met andere deeltjes waardoor een zogenoemd 'cascade-effect' optreedt. Zo wordt de uiteindelijke shower (bestaande uit vele miljoenen deeltjes) gevormd.

Van alle deeltjes die de shower kan bevatten, zijn de muonen voor ons het meest interessant. Hun baan licht in het verlengde van de richting van het oorspronkelijke hoog energetische deeltje.

Muonen:

Muonen zijn deeltjes die 200 keer zo zwaar zijn als elektronen, maar hebben verder wel dezelfde eigenschappen.

Gedistribueerd meetstation:

De eerder besproken detector zal uiteindelijk een meetstation vormen, dat samen met andere meetstations een array zal vormen. Hiermee wordt een groot detectieoppervlak verwezenlijkt, zonder dat er een erg groot meetstation gebouwd hoeft te worden.

Deze meetstations vormen een netwerk, en er zal uiteindelijk op iedere deelnemende middelbare school een dergelijk station verschijnen.

Aangezien de meetstations nooit identiek kunnen zijn kunnen de waardes niet geanalyseerd worden, en zal het signaal uitzonderlijk als een discreet signaal gebruikt kunnen worden. De correctiefactoren van de gemiddelde meetstations zijn immers moeilijk te berekenen.

Het Meetstation

Scintillator:

Een scintillator is een glasachtige plaat met een eigenschap die er voor zorgt dat als er een deeltje (zoals een muon) doorheen schiet het een kleine hoeveelheid energie afstaat, in de vorm van licht.

Het oppervlak van de scintillator is extreem vlak en heeft een brekingsindex met een erg grote grenshoek. Deze twee factoren verzekeren een bijna totale reflectie van al het licht binnen de scintillator. Als er ergens een onregelmatigheid te vinden is zorgt het eromheen gewikkelde aluminiumfolie alsnog voor reflectie. De reden dat het scintillatormateriaal niet aangeraakt mag worden is ten gevolge van het vet dat de vingers dan zullen achterlaten op de plaat. Dit verstoort de 'natuurlijke' breking van het licht wat signaalverlies tot gevolg heeft.

Het grote probleem van scintillatoren is dat het licht dat afgestaan wordt door muonen niet verschilt van het licht van buitenaf. Verderop in het systeem zal al het licht vanuit de scintillator een signaal veroorzaken. Dit is niet gewenst. Daarom zijn de scintillatoren (twee) in enkele lagen landbouwplastic gewikkeld, over het eerder genoemde aluminiumfolie heen. De dikte van de scintillator maakt geen verschil in de uiteindelijke meting, maar het oppervlak van de plaat is wel van invloed, immers, door een grotere plaat vallen nou eenmaal meer muonen.

Lichtgeleider:

De lichtgeleider is een aan de scintillator vastgeplakte glazen plaat, die het licht wat afgestaan is door het muon transporteert naar de fotomultiplier, die later besproken wordt. De twee eigenschappen die deze geleider moet hebben zijn:

1. Licht van een groot oppervlak in een klein oppervlak leiden.
2. Licht niet laten ontsnappen. (goed reflecteren)

De eerste eigenschap uit zich in de vorm van de lichtgeleider, deze is immers plat, en driehoekig, met een botte kop. Hierdoor komt het licht in een kleiner oppervlak samen.

De tweede eigenschap heeft te maken met het materiaal waarvan de lichtgeleider gemaakt is, dit materiaal is perspex.

De lichtgeleider is gelijmd op de scintillator om te zorgen dat het licht niet terug richting de scintillator kaatst, en zodat de scintillator en de lichtgeleider stevig op elkaar zitten. Aan de andere (kleine) kant van de lichtgeleider is de fotomultiplier gelijmd.

Fotomultiplier (PMT):

Een fotomultiplier of PMT is een apparaat dat een lichtflits versterkt tot een elektrisch signaal. Als een foton in het 'venster' van de PMT terecht komt dan maakt een elektron los uit een fotokathode. Dit elektron wordt door de focus-elektrode de *dynode-trap* binnen geleid.

Door het aanwezige elektro-magnetische veld wordt het elektron versneld alvorens in te slaan op de eerste dynode. Hier maakt het meerdere zogenaamde *secundaire elektronen* vrij.

Deze worden op hun beurt weer aangetrokken door de volgende dynode en versneld.

Zo worden er bij elke dynode meer elektronen vrij gemaakt totdat alle elektronen bij de laatste dynode worden gevangen door de anode. Het grote aantal elektronen dat nu beschikbaar is, is genoeg om een meetbare elektrische spanning te genereren. Dit in tegenstelling tot het enkele foton waar alles mee begon.

Er is hoogspanning nodig om de elektronen uit de fotokathode te krijgen, en om een magnetisch veld te vormen waarin de vrijgekomen elektronen dan worden versneld.

Scintillator Signal Follower (SSF):

Dit apparaat ontleent zijn naam aan het feit dat hij de signalen van de twee in het meetstation opgenomen PMT's (voor iedere scintillator één) enigszins analyseert. Bij een shower zal er door beide scintillatoren ongeveer tegelijk muonen komen. De SSF controleert of dit het geval is, muonen kunnen namelijk ook afkomstig zijn van andere stralingsbronnen, zoals beton. Verder controleert de SSF of het signaal aan een bepaald energieniveau voldoet, dit wordt 'triggeren' genoemd. Als er niet 'getriggerd' zou worden dan worden er ook signalen afkomstig van niet-muonen opgenomen in de meetresultaten.

Data acquisitie systeem (DAQ):

Het data acquisitie systeem slaat alle gegevens verstuurd door een SSF lokaal op. Deze gegevens heten coïncidenties, omdat deze gegevens verstuurd worden als er sprake is van een gelijktijdig signaal bij beide PMT's. De lokaal opgeslagen data wordt vervolgens verzonden naar een centraal systeem waar ze kunnen worden geanalyseerd. De data worden niet meteen verzonden maar wordt eerst lokaal geanalyseerd.

De opgeslagen data omarmen de volgende velden:

1. Tijd van de coincidentie (bepaald met de GPS)
2. Sterkte van de gemeten piek, die vanwege de onbekende correctiefactor alleen lokaal relevant is
3. De positie van de detector
4. Het identiteitsveld, zodat het centrale systeem weet welk meetstation deze gegevens ontving
5. Niet verder relevante interne velden

Global Positioning System (GPS):

Met de GPS beschikt men over een zeer precieze tijdsbepaling.

Voor het bepalen van een positie (wat niet nodig is, omdat de positie van de meetstations niet zal veranderen) moeten er vier satellieten beschikbaar zijn, voor tijdsbepaling slechts een. Het is dus vrijwel altijd mogelijk een precieze tijdsbepaling door te krijgen, die dan gekoppeld kan worden aan een bepaalde coïncidentie.

De bouw en testfase

Het inpakken van de scintillator:

De scintillatoren werden eerst omwikkeld met aluminiumfolie, en daarna met landbouwplastic. Het was een vrij ingewikkeld klusje, omdat de scintillator niet met de blote handen aangeraakt mocht worden. Verder moest het landbouwplastic goed sluiten, omdat een klein gaatje al verantwoordelijk kan zijn voor een 'lichtlek' van formaat. Dit heeft tot gevolg dat het systeem niet meer werkt.

Het solderen van de PMT:

Eerst werd er voor twee kabels gezorgd, een voor de hoogspanning (voeding) en een voor het signaal zelf. Deze kabels bestonden uit een 5-pins connector aan de ene kant en een coax aansluiting en twee banaanstekkers aan de andere kant. Hierna werden er 5-pins connectors aan de PMT's gesoldeerd.

Dit was niet de bedoeling, en daarom werden de connectoren losgehaald, de coxaansluiting direct op de PMT gesoldeerd, en zijn alleen de voedingsnoeren via de 5-pins connector gesoldeerd. Hier zijn ook draaiweerstand in bevestigd, voor het aanpassen van de stroomsterkte.

Het lijmen(scintillator aan lichtgeleider, lichtgeleider aan PMT):

Een van de meest zenuwslopende en precieze klussen was het lijmen. Om de sterkte van verschillende lijmsorten te testen werden er, met verschillende soorten lijm, allemaal kleine stukjes scintillatormateriaal op een lichtgeleider geplakt. Hiermee konden we goed bekijken welke lijm het meest doorzichtig was, en welke lijm het sterkste was.

Lijm	Kracht (KG)	Arm (m)	Lengte (m)	Dikte (m)	Kracht (N)	Moment (Nm)	Breeksterkte (N)
610	0,88	0,37	0,08	0,01	8,6	3,2	40
1500	1,5	0,37	0,09	0,01	14,7	5,4	60
ne2000	1,75	0,67	0,043	0,01	17,2	11,5	267
100k	8,5	0,13	0,1	0,01	83,4	10,8	108
100c	7,5	0,13	0,065	0,01	73,6	9,6	147

De kracht die het kostte om de scintillatoren er af te breken is af te lezen in de eerste rij. Deze kracht werd vermenigvuldigd met de arm (tweede rij). De arm was een stuk staal, dat aan de scintillator bevestigd werd, en er werd aan getrokken met een veerunster. Na de vermenigvuldiging kwamen we uit op het moment (zesde rij). Dit werd weer gedeeld door de lengte van het stuk scintillator (derde rij) als maat voor het lijmoppervlak. Dit oppervlak hoeft niet berekend te worden omdat de dikte (vierde rij) overal het zelfde is. Qua breeksterkte is de 'ne2000' lijm duidelijk de beste. Gelukkig was dit ook de meest doorzichtige lijm.

Het lijmen zelf was een vrij ingewikkelde klus. Er werd een houten standaard gemaakt die bovenop een tafel stond, met een plat vlak dat naar voren uitstak. Hierin zat een inkeping, precies op de hoogte van de rand van de scintillator, die op de grond werd gezet met het kleinste vlak, en dus rechtop, plat tegen de standaard aanlag. Hier bovenop werd de lichtgeleider gezet, deze werd tijdelijk vastgezet met lijmklemmen. De twee delen werden aan elkaar vastgelijmd, waarna het de beurt was voor de PMT. Na dit proces herhaald te hebben voor de tweede scintillator hebben we de delen van scintillator en lichtgeleider in de buurt van de lijmoppervlakken, lichtdicht gemaakt, aangezien deze bloot lagen. Hiermee was het lijmen afgerond.

Het doormeten:

Eerst moest het hele systeem op lichtlekken worden gecontroleerd. Op de oscilloscoop toonden zich na het aansluiten en aanzetten van de beide scintillatoren (na elkaar), 50 Herz signalen, afkomstig van de tl-buizen. Dit gebeurde bij beide scintillatoren, ze waren dus niet lichtdicht. Het licht werd uitgezet en het oppervlak werd afgespeurd met een kleine zaklamp, terwijl we wachtten op een uitslag op de oscilloscoop. De meeste lichtlekken werden zoals verwacht gevonden op het (in beide gevallen slecht dichtgeplakte) grensvlak tussen oscilloscoop en lichtgeleider.

Na deze actie werd de gevoeligheid van de scintillator gemeten. Twee kleine scintillatoren werden boven het oppervlak gehouden, en als deze scintillatoren een puls gaven moest er een muon doorheen gegaan zijn, ook door de grote 'echte' scintillator. We registreerden de pulshoogte van de grote scintillator

Het controleren van de SSF:

De SSF is getest met de twee kleine scintillatoren, die in de SSF en in de oscilloscoop geplugd waren. Hierbij werd gekeken of de SSF goed reageerde op een geregistreerd signaal, zoals de oscilloscoop dat doet.

Persoonlijke beschouwing

Voor mij persoonlijk waren de woensdagen aan de universiteit van Utrecht leerzaam en leuk. Ik beschouw het als een eer dat ik mee mocht doen aan het project en hoewel natuurkunde niet mijn sterkste vak is kon ik aardig meekomen en heb ik er veel van opgestoken.

Ik heb uitgerekend hoeveel uur ik ermee bezig ben geweest, omdat er voor het profielwerkstuk tachtig studielasturen staan. Ik kwam ver boven de tachtig uit, alleen al door de bezoeken aan de universiteit en het schrijven van de 'voortgangsverslagen'. Daarom heb ik er ook mijn EXO van gemaakt. Dit **experimenteel** onderzoek beschouwt in het kort en vrij algemeen hoe een dergelijk meetstation in elkaar steekt en hoe het werkt. Dit profielwerkstuk beschouwt het geheel van mijn ervaringen aan de universiteit van Utrecht, en is geen uitbreiding van de EXO, de dingen die daarin besproken zijn komen hier wel terug maar worden niet meer opnieuw behandeld, eerder verondersteld. Voor de duidelijkheid is er aan dit profielwerkstuk wel een beknopte versie van de EXO toegevoegd.

Terug naar de universiteit. Ik denk dat ik van de leerlingen die meededen aan het project wel een van de minst begiftigde was op het gebied van de fysica. Van deze andere leerlingen waren twee zelfs van plan natuurkunde te gaan studeren. Toch beschouw ik het project en mijn deelname als geslaagd. Ik heb maar een bijeenkomst gemist wat toch wel als een soort van aanwezigheidsrecord kan gelden. Ik ben veel te weten gekomen over het onderwerp kosmische straling en kan nu beter overweg met bepaalde apparaten zoals de oscilloscoop.

Onze ploeg bestond uit de pioniers, wij waren de eerste groep leerlingen in Utrecht die een meetstation bouwden. Ik hoop dat de ervaringen die wij opgedaan hebben kunnen leiden tot een wat soepelere en efficiëntere werkwijze van het team dat het tweede meetstation gaat maken. Verder hoop ik dat dit meetstation Hisparc goed van dienst kan zijn, ik wil hem zelf nog wel een keertje zien.

Ik vond het kort samengevat een erg leuk project, en ik ben blij dat ik er deel van uit kon maken. Ik heb veel dingen geleerd en heb goede herinneringen overgehouden aan het project. Als een van de eerste leerlingen van het Nieuwe Lyceum die heeft deelgenomen zou ik het graag aanbevelen voor andere leerlingen natuurkunde die interesse hebben voor het vak.

Bronvermelding

De bronvermelding voor dit profielwerkstuk is wat apart, het is namelijk zo dat het grootste deel van de kennis over het onderwerp niet door mij uit boeken gehaald is, maar mondeling is overgebracht door de begeleiders. Doordat zij ons alles wat we moesten weten hebben verteld en wij verder vooral hebben geknutseld is de bronvermelding vrij klein. Het bestaat uit websites waar door mij naar aanvullende informatie is gezocht.

- <http://osg-schoonoord.doorn.kennisnet.nl/vwo-5/intern/napohisparc/>
Een site gemaakt door de deelnemers van het zeister lyceum, die net zoals ik en Wouter Marra een (erop gelijkende) Praktische Opdracht hebben gemaakt, in de vorm van een website.
- <http://www.phys.uu.nl/~hisparc/hisparc.html>
De hisparc-site van de universiteit Utrecht
- <http://www.hisparc.nl/>
De algemene site over hisparc, wordt beheerd door Nijmegen en een bron van informatie en inspiratie voor ons allen.
- <http://ast.leeds.ac.uk/haverah/detector.shtml>
Een Engelstalige site over het onderwerp en de technische aspecten daarvan.
- De natuurkunde-2 boeken van Nijgh-Versluys, uit de serie Systematische Natuurkunde