

# Kosmische straling: een ander ve

## Middelbare scholieren meten energierijke deeltjes uit de ruimte

Het detecteren van kosmische straling is niet alleen voorbehouden aan grote internationale projecten. In Nijmegen loopt momenteel een project, waaraan onder meer twee middelbare scholen deelnemen, waarbij met behulp van een drietal detectors richting en energie van binnenkomende kosmische straling wordt gemeten. Binnen een jaar zal dit NAHSA-project met nog eens vier waarnemstations worden uitgebreid. Ook in andere universiteitssteden bestaan plannen in deze richting.

Charles Timmermans\*

Vrijwel iedereen heeft wel eens gehoord van 'natuurlijke radioactiviteit' en achtergrondstraling. Het aantal mensen dat zich realiseert dat deze straling grotendeels uit de ruimte komt is aanzienlijk kleiner. De aarde wordt echter voortdurend gebombardeerd door deeltjes uit de ruimte. Dit zijn vooral neutrino's en waterstofkernen (protonen), maar daarnaast regenen ook andere deeltjes op ons neer. Als we deze primaire kosmische straling direct willen meten, moeten we met ballonnen of satellieten zo hoog mogelijk proberen te komen, waar de deeltjes nog niet de kans hebben gekregen om tegen

atomen en moleculen in de atmosfeer te botsen. De grote meerderheid van de kosmische deeltjes (met uitzondering van de neutrino's, die nauwelijks reageren) botsen tegen deeltjes in de atmosfeer. Bij deze botsingen komen secundaire, vaak kortlevende deeltjes vrij, die op hun beurt vervallen of opnieuw in botsing komen, zodat er een *deeltjesregen* ontstaat. Uiteindelijk worden deze deeltjes opgenomen in de atmosfeer, op een relatief klein aantal na dat op aarde terecht komt. Het zijn deze laatste die zorgen voor de achtergrondstraling op aarde, en die informatie geven over de deel-

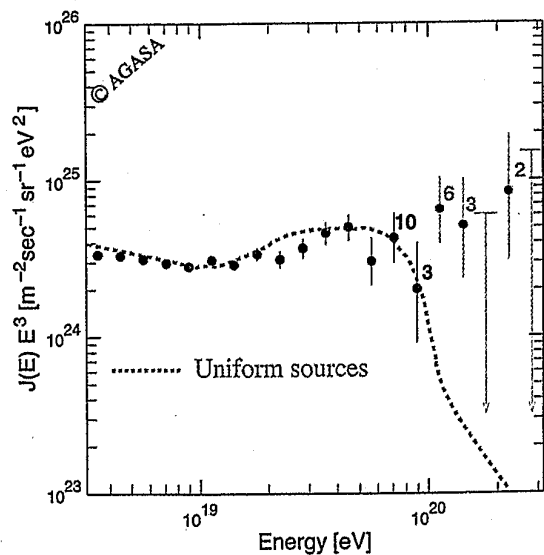
tjes van de primaire (oorspronkelijke) kosmische straling. Het onderzoek naar kosmische straling spitst zich toe op precisie-metingen bij 'lage' energieën buiten de dampkring (met bijvoorbeeld het AMS-experiment in het internationale ruimtestation ISS), en op metingen aan hoogenergetische straling (via de eerdergenoemde deeltjesregens; zie ook kader). Aangezien de hoeveelheid hoogenergetische kosmische straling gering is, moet er lang gemeten worden met een zeer grote detector (met een oppervlak van meerdere vierkante kilometers) om een statistisch relevante hoeveelheid gegevens te vergaren. Een detector op de grond, die gebruik maakt van de interacties in de atmosfeer, is de enige manier om deze straling te bestuderen. Naast grote initiatieven in het buitenland (AGASA in Japan en Auger in Argentinië), is er in Nederland een initiatief om een zogeheten *detectorarray* op te bouwen, waarbij wetenschappelijke in-

## De oorsprong van hoogenergetische kosmische

De metingen aan kosmische straling wijzen uit dat de aanstormende atoomkernen (en/of protonen) versneld zijn tot energieën van minimaal  $10^{19}$  eV, en waarschijnlijk tot boven de  $10^{20}$  eV (ofwel meer dan 10 joule!). De

vraag hoe en waar dergelijke energieën bereikt kunnen worden is op dit moment niet beantwoord. Bronnen van kosmische straling zoals supernovaresten, actieve melkwegstelsels en neutronensterren zijn, voor zover bekend, niet

in staat om  $10^{20}$  eV aan energie in één enkel deeltje te stoppen. Daarnaast bestaat de vraag hoe de straling ons kan bereiken. Deze vraag vindt haar oorsprong in de 2,7 K-achtergrondstraling, die de ruimte vult. Per kubieke centimeter zijn er ongeveer vierhonderd fotonen, overblijfselen van de oerknal, die een energie hebben die overeenkomt met een temperatuur van ongeveer 2,7 kelvin. Als zeer hoogenergetische protonen of atoomkernen door de ruimte reizen, vinden er reacties plaats tussen de kernen en deze fotonen. Als protonen een energie van  $10^{20}$  eV hebben, is er genoeg energie om hen uiteen te laten vallen in protonen en instabiele pionen. De resulterende protonen hebben uiteraard aanzienlijk veel minder energie. Ook atoomkernen reageren met de achtergrondstraling en vallen uiteen. Deze reacties zorgen ervoor dat de energie van de kernen afneemt. Na een afstand van ongeveer 100



A. Waarnemingen van het AGASA-experiment in Japan. Het aantal waargenomen detecties is geschaald met de energie tot de derde macht om een redelijk vlakke grafiek te krijgen. De blauwe lijn geeft de theoretische verwachting. De getallen bij de laatste punten geven de echte aantallen detecties in de verschillende energiegebieden.

\* Charles Timmermans heeft zich als academisch onderzoeker aan de Katholieke Universiteit Nijmegen beziggehouden met de muonproductie door kosmische straling. Tegenwoordig is hij als onderzoeker aan het NIKHEF bezig met het ATLAS-experiment, dat over enkele jaren bij CERN (in Zwitserland) gegevens gaat verzamelen over proton-proton-botsingen.

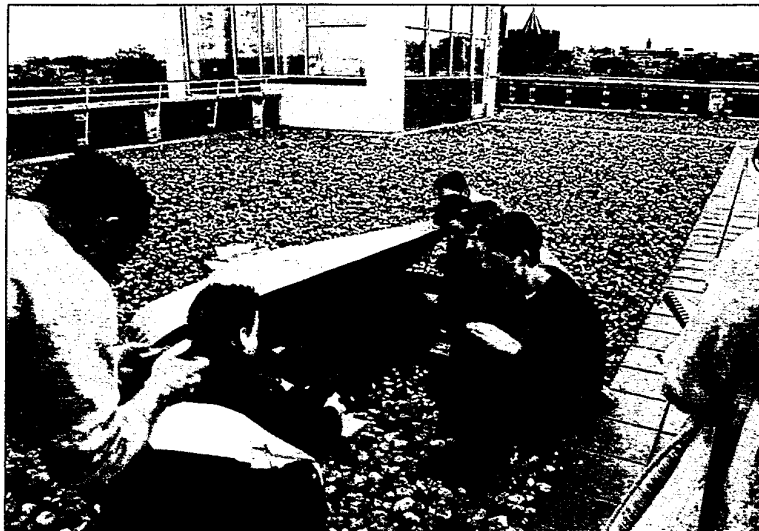
# enster op het universum

stituten en middelbare scholen samenwerken om ook scholieren bij deze inspanning te betrekken.

## Het NAHSA-experiment

Sinds juni 2002 zijn we in Nijmegen bezig met het Nijmegen Area High School Array-experiment, kortweg NAHSA. De opzet van NAHSA is tweeledig. Naast de wetenschap is het educatieve aspect van belang. Leraren en leerlingen worden expliciet uitgenodigd om te participeren in het opzetten van detectorstations, het verzamelen van gegevens, en de interpretatie van de resultaten (zie ook fig. 6). Deze opzet maakt het noodzakelijk dat NAHSA in fasen wordt opgebouwd. Gedurende de eerste fase bestaat het experiment uit drie stations, welke zich bevinden op de Katholieke Universiteit Nijmegen (KUN), de Nijmeegse Scholengemeenschap Groenewoud (NSG) en het Stedelijk Gymnasium (GYM).

Het doel van het experiment is om deeltjes te detecteren met energieën van meer dan  $10^{17}$  eV. Omdat de flux van deze deeltjes laag is, na-



1. Installatie van een detector op het dak van het stedelijk gymnasium in Nijmegen. Leerlingen van de school luisteren naar uitleg door een student van de KUN over de werking van de detector.

melijk een handvol deeltjes per vierkante kilometer per dag, moeten we een detector bouwen die gevoelig is op een groot oppervlak. Dit bereiken we door een detector uit verschillende onafhankelijke stations te laten bestaan, die de deeltjesdichtheid op aarde kunnen meten. Door de gegevens van de stations te combineren, kunnen we iets zeggen over de deeltjesregen, en dus over de energie en richting van de primaire kosmische straling. Een voorbeeld van de reconstructie van een gesimuleerde deeltjesregen die ontstaat door het verval van een kosmisch proton met een energie van  $10^{19}$  eV dat door zo'n 'verspreide' detector wordt geregistreerd is te zien in figuur 2.

Op elk detectorstation moet de deeltjesdichtheid gemeten worden. Daarnaast moet een tijdstempel aan de meting toegekend worden, zodat de gegevens van verschillende stations (fig. 3) gecombineerd kunnen worden.

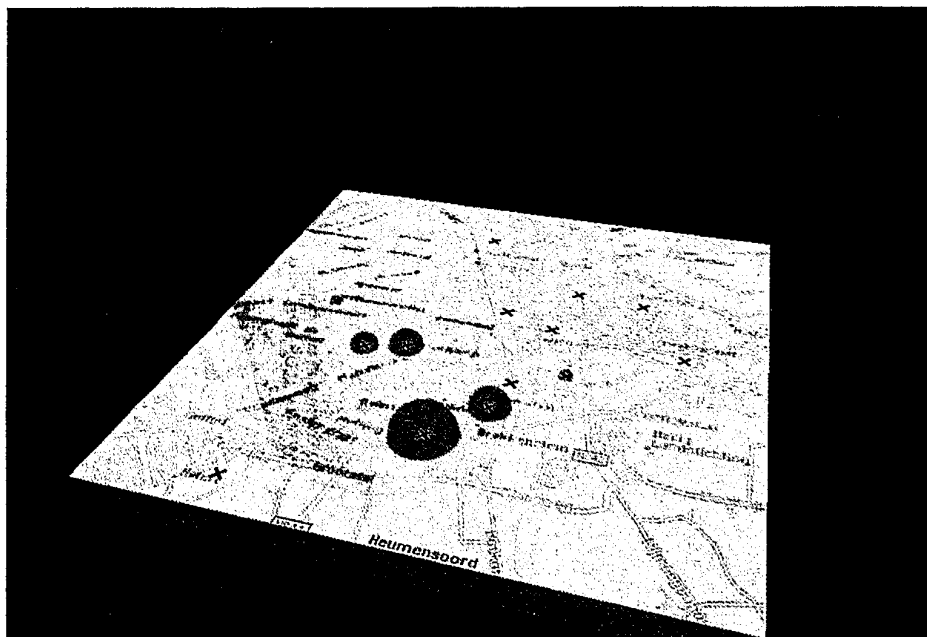
De detectie van de geladen deeltjes gebeurt met behulp van twee detectors. Het actieve element van elke detector is een plaatscintillator van een halve vierkante meter. Als er een geladen deeltje door de scintillator gaat, ontstaat er een lichtflits.

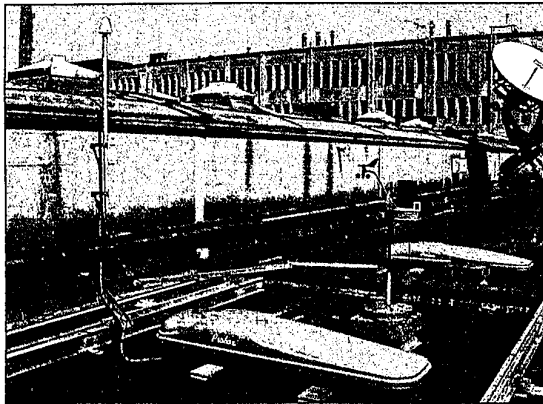
2. Grafische weergave van een gesimuleerde en gereconstrueerde inslag van een primair proton met een energie van  $10^{19}$  eV. De groottes van de halve bollen geven aan hoeveel deeltjes er op elk station gemeten zijn. De kegel geeft de gereconstrueerde richting en energie van het primaire proton weer.

## straling

Mpc blijft er iets minder dan  $10^{20}$  eV over, onafhankelijk van de beginwaarde van de energie. Dit effect werd voor het eerst beschreven door Greisen en onafhankelijk hiervan door Zatsepin en Kuzmin en heet het GZK-effect.

Op aarde kunnen er dus niet (of nauwelijks) deeltjes boven de GZK-drempel worden waargenomen. Het AGASA-experiment in Japan, het grootste tot nu toe uitgevoerde experiment, heeft deze deeltjes wel waargenomen (zie fig. A). Dit betekent dat deze deeltjes binnen een afstand van 100 Mpc moeten worden geproduceerd, maar bronnen zijn tot nu toe niet bekend. Het aantal waargenomen detecties is bovendien niet erg groot en dit maakt het moeilijk om een of meerdere richtingen aan te geven waaruit de straling afkomstig kan zijn.





3. Detector op het dak van de KUN. Te zien zijn twee skiboxen waarin de deeltjesdetectoren liggen. Aan de linkerkant is de GPS-antenne zichtbaar, en tussen de skiboxen is bovendien een weerstation aanwezig. De hoogspannings- en signaalkabels gaan vanuit de skiboxen naar de elektronica.

Deze lichtflits wordt door een fotobuis omgezet in een elektrisch signaal. Vervolgens selecteert de elektronica die detecties waarbij binnen 1 microseconde twee fotobuizen een signaal gegeven hebben. Deze gegevens worden door een digitale oscilloscoop gedigitaliseerd en opgeslagen in een pc. Bovendien wordt een GPS-tijdsstempel aan de gegevens toegevoegd. Door de twee verschillende scintillatieplaten enkele meters uit elkaar te leggen, wordt ervoor gezorgd dat de deeltjesdichtheid vrij hoog moet zijn over een redelijk oppervlak (dus de primaire energie redelijk hoog) voordat er iets gedetecteerd wordt. Het tijdsverschil tussen de signalen van beide platen is uit de oscilloscoopgegevens te halen en staat uitgezet in figuur 5. In deze figuur is



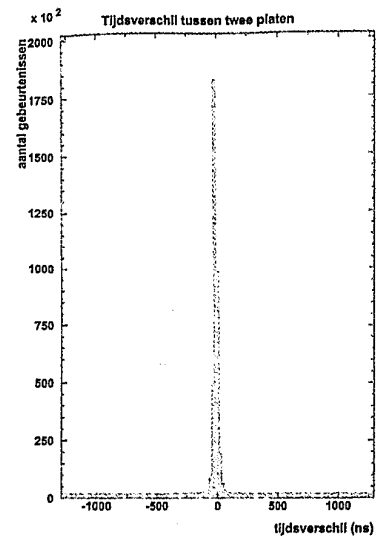
4. Het inpakken van het scintillatormateriaal en de lichtgeleider. Om het licht binnen te houden is de detector in aluminiumfolie ingepakt. Hieromheen is zwart folie aangebracht om omgevingslicht buiten te houden.

een duidelijke piek rond nul te zien, hetgeen erop duidt dat de signalen van de platen gecorreleerd zijn.

### Correlaties

Zoals gezegd, bestaat het detecteren van de hoogenergetische straling uit het meten van gecorreleerde detecties tussen de verschillende stations. Om deze correlaties te kunnen meten (zie intermezzo), maken we gebruik van het GPS-systeem, dat naast een precieze plaatsbepaling ook een precieze tijdsbepaling geeft. Omdat de afstand tussen KUN en NSG ongeveer vijfhonderd meter is, wordt hier als coïncidentie-interval een tijd van twee microseconden genomen (de tijd die een foton erover doet om van de KUN naar de NSG te gaan). Beide andere afstanden zijn ongeveer drie kilometer, en dus zoeken we hier naar coïncidenties binnen tien microseconden. Uit figuur 6 blijkt duidelijk dat er coïncidenties zijn op een afstand van 500 meter, terwijl de gegevens op een afstand van drie kilometer alleen toevallige detecties laten zien. Dit is volledig in de lijn der verwachtingen. Om op drie kilometer afstand deeltjes te kunnen detecteren, is een primaire energie van meer dan  $10^{18}$  eV nodig, en dit komt zeer zelden voor (slechts tienmaal per jaar per vierkante kilometer).

Om de energie van de primaire kosmische deeltjes te achterhalen, zijn minimaal drie meetpunten nodig. Uit de tijdsverschillen tussen de metingen is de richting te ach-



5. Tijdsverschil van de signalen van twee platen van een enkel station. De piek rond nul bevat 64 % van alle signalen in deze grafiek. Dit is in goede overeenstemming met de berekening uit het intermezzo.

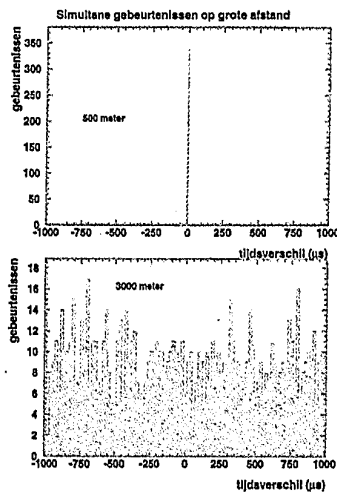
terhalen, en vervolgens geven de deeltjesdichtheden op elk station de energie. In deze reconstructie zitten aannames met betrekking tot de interacties in de lucht en de aard van de primaire straling. Door nauwkeurige bestudering van de gegevens van een of meer stations is het mogelijk om de modellen gedeeltelijk te toetsen.

### Kosmisch weerstation

Naast de bestudering van gecorreleerde detecties is het ook mogelijk de gegevens van de individuele stations te analyseren. Een van de opvallende eigenschappen van de gegevens is de correlatie met luchtdruk en temperatuur. Deze correlatie is duidelijk zichtbaar in onderstaande grafiek, en volgt de naïeve verwachting. Immers, bij hoge luchtdruk is het gewicht van de luchtkolom boven ons groter, en dus is er meer absorptie en komen er minder deeltjes op aarde aan. Als de temperatuur hoog is, is de gemiddelde hoogte van de lichtmoleculen wat groter en worden de kortlevende muonen hoger in de atmosfeer geproduceerd. De korte levensduur zorgt ervoor dat minder muonen het aardoppervlak bereiken, en daardoor neemt de telsnelheid van de stations af. De telsnelheid van een station hangt dus af van temperatuur en druk!

### De toekomst

Het komende jaar zal NAHSA uitgebreid worden met vier stations. Ook zal er een cluster van detectors



6. Tijdsverschil tussen detecties van verspreide stations. Er is een duidelijke piek zichtbaar (bij 2  $\mu$ sec) op een afstand van 500 meter, en niet bij 3 kilometer. Analoog aan de coincidenties tussen twee platen op een station is het duidelijk dat de coincidenties op 500 meter een gemeenschappelijke oorsprong moeten hebben. De hoeveelheid gegevens in deze grafieken correspondeert met bijna tachtig meetdagen.

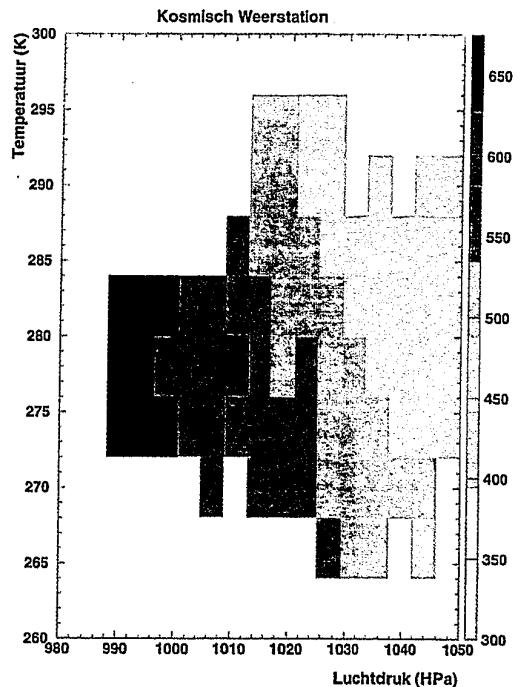
in Amsterdam operationeel worden. Daarnaast zijn er in Utrecht, Groningen en Leiden plannen om met dit experiment mee te doen en

ook rond deze wetenschappelijke instellingen zullen dan clusters ontstaan. (De nationale organisatie van dit experiment staat bekend onder het acroniem HISPARC (High School Project on Astrophysics Research with Cosmics).)

Door de krachten te bundelen is het voor de lokale clusters mogelijk om te leren van wat er in andere plaatsen is gedaan, en kunnen in de toekomst centrale faciliteiten worden gebruikt. Daarnaast worden de gegevens van de clusters gecombineerd om tot een beter meetresultaat te komen. Interessant is ook dat we niet alleen naar gecorreleerde detecties tussen stations binnen een cluster kunnen zoeken, maar ook naar gecorreleerde detecties tussen clusters onderling (op afstanden van vijftig tot honderd kilometer). Binnen de gangbare modellen worden dit soort correlaties niet verwacht, hetgeen de speurtocht hiernaar alleen maar interessanter maakt.

#### Literatuur en websites

C. de Jager, 'Deeltjes bombarderen de aarde', *Zenit*, juli/augustus 2001  
 A.A. Watson, 'Cosmic rays of the highest energies', *Contemporary Physics* 43, 2002  
<http://www.hef.kun.nl/nahsa>  
<http://www.hisparc.nl>



7. Aantal detecties voor een enkel station als functie van luchtdruk en temperatuur. Het aantal detecties is in kleurcode uitgezet. Zowel een druk- als een temperatuurafhanke-lijkheid is duidelijk zichtbaar.

## Intermezzo: toevallige of gecorreleerde detecties?

Omdat beide detectorplaten (min of meer) gelijk zijn, nemen we maar aan dat elke plaat met dezelfde frequentie ( $f$ ) telt. In ons geval is de telsnelheid per plaat ongeveer 200 Hz, dus tweehonderd tellingen per seconde. Stel dat plaat A een signaal geeft, dan wordt dit geregistreerd als plaat B binnen een tijd  $\Delta$  (1 microseconde) óók een signaal geeft. De kans dat dit gebeurt is, in redelijke benadering,  $P = f\Delta$ . (Deze benadering is geldig zolang  $P$  klein is,  $P = 1 - e^{-f\Delta}$  is een betere beschrijving van de kans.)

Het aantal keren per seconde dat dit gebeurt is dan dus  $fP$ . Naast plaat A kan uiteraard ook plaat B als eerste vuren, zodat het totaal aantal toevallige detecties per seconde wordt gegeven door  $2fP$ . In ons geval vertaalt zich dat in ongeveer 300 detecties per uur. We meten er echter ongeveer 900. Dit betekent dat het merendeel van de detecties niet toevallig zijn, maar een gemeenschappelijke bron hebben: er is sprake van *coincidenties*. Dit soort argumenten werd in het verleden gebruikt om aan te geven dat deeltjeslawines wel degelijk voorkwamen in de atmosfeer en dat de deeltjes die op verschillende posities op aarde terechtkomen een gemeenschappelijke bron kunnen hebben. Door te kijken naar het tijdsverschil van de signalen van beide platen is dit overigens meteen duidelijk.

Starlight Xpress

CCD-camera  
**SXV-H9**  
 Sony Exview CCD  
 1392 x 1040 pixels  
 inclusief  
 Claire de Lune aanbieding  
**AstroArt 3.0**  
**€ 3.130,-**






**Claire de Lune Amsterdam**  
 tel.: 020 4112937 • 06 51999671 • fax: 020 6673220  
[www.clairedelune.nl](http://www.clairedelune.nl)