

Wetenschappelijk onderzoek

Kan de kloof tussen de beginnende scholier en de wetenschappelijk onderzoeker worden overbrugd? De laatste eeuw is die kloof breder en dieper geworden. Veel moderne onderzoekers hebben nauwelijks contact met het onderwijs en werken afgezonderd in gespecialiseerde laboratoria, al dan niet in kilometers lange tunnels onder de grond. En in het voortgezet onderwijs, dat massaler is geworden en een grotere pedagogische rol heeft gekregen, is nog geen bevredigende manier gevonden om leerlingen te laten delen in de vragen en de resultaten van het moderne wetenschappelijk onderzoek. In de tweede fase is de natuurkunde op school zich zelfs nadrukkelijker dan daarvoor tot klassieke onderwerpen gaan beperken. Maar toch, gebruik makend van de mogelijkheden van het internet en het *Global Positioning System* (GPS) en – wat betreft het onderwijs – van het Studiehuis, doen astro- en deeltjesfysici met het project HISPARC nu een poging een brug te slaan.

den in het kader van het landelijk HISPARC-netwerk. In Amsterdam gaan zeven scholen in een netwerk met de VU en het NIKHEF dit najaar een detector bouwen. Op 6 juni jl. namen van deze scholen 26 popelende leerlingen en acht docenten aan een eerste instructiebijeenkomst deel.

ONDERWIJSACTIVITEITEN

Het is niet nodig dat vwo-docenten en scholieren zich alle theorie achter dit onderzoek eigen maken. Voor het onderzoek zelf is het voldoende dat zij de detector en de dataverwerking aan de praat houden. Het is echter de bedoeling om van de aanwezigheid van een detector op school een kristallisatiekern te maken voor allerlei onderwijsactiviteiten. Zo geeft het project aanleiding tot profielwerkstukken in het kader van het studiehuis in de tweede fase. Voor deze profielwerkstukken verrichten de leerlingen eigen onderzoek en HISPARC kan hiervoor allerlei aanknopingspunten bieden in een zinvolle context.

Om te beginnen bouwen scholieren de detectoren zelf en krijgen de scholen de beschikking over software om de gegevens van alle detectoren op te halen en te analyseren. Die analyse richt zich bij-

HISPARC en NAHSA

HISPARC staat voor *High-School Project for Astrophysics Research with Cosmics* en is een landelijk project om middelbare scholen en onderzoeksinstituten te laten samenwerken aan een astrofysisch onderzoek. Het is opgezet naar het voorbeeld van de *Nijmegen Area High School Array* (NAHSA) een proefproject waarbij de KUN en twee middelbare scholen samenwerkten aan astrofysische metingen met behulp van detectoren die bij alle drie de instellingen geplaatst waren. Deze maanden sluiten vier nieuwe scholen zich bij het Nijmeegse project aan. Tegelijk wordt in Amsterdam een nieuw cluster van zeven detectoren rond NIKHEF en VU geïnstalleerd en worden in Utrecht, Leiden en Groningen initiatieven voor nieuwe clusters genomen. Naast het wetenschappelijke belang biedt het project de mogelijkheid om leerlingen in het voortgezet onderwijs actief te betrekken bij wetenschappelijk onderzoek.

Meer informatie is te vinden op de websites

<http://www.hisparc.nl/>, en

<http://www.hef.kun.nl/nahsa/>.

CHARLES TIMMERMANS (KUN)

JAAP SCHOTANUS (KUN)

BOB VAN EIJK (NIKHEF/UT)

JAN-WILLEM VAN HOLTEN (NIKHEF/VU)

FRANS VAN LIEMPT (VU)

DETECTIENETWERK

In HISPARC wordt onderzoek gedaan naar (sub)atomaire geladen deeltjes met een energie van meer dan 10^{19} eV – de energie van een glas melk dat van tafel valt – die de atmosfeer per km^2 hoogstens een keer per jaar treffen. Tot nu toe is slechts een beperkt aantal waarnemingen van deze deeltjes geclaimd. Als het geen artefacten zijn, willen we graag weten waar ze vandaan komen en waarom ze zoveel energie hebben. Een deeltje dat met deze energie de atmosfeer binnenkomt, veroorzaakt door botsing en verval een *airshower* van secundaire deeltjes die zich op aarde over een groot oppervlak verspreidt. Met 10 à 15 detectoren op een gebied van 100 km^2 kan de *shower* goed worden waargenomen. De meetgegevens van elke detector worden met GPS van coördinaten en van een tijdstempel voorzien en via het internet verzameld. Wat is er mooier dan samen met scholieren de detectoren te bouwen en op het dak van hun school te plaatsen, en hen te betrekken bij de observaties? In Nijmegen gebeurde dat in 2002 voor het eerst met het NAHSA-project, nu wordt het initiatief uitgebreid naar andere ste-



Figuur 1
Schematische voorstelling van deeltjes-shower in de atmosfeer (M. Chemarin).

k voor scholieren

voorbeeld op coïncidenties met andere detectoren. Medewerkers van de universiteit of het NIKHEF helpen bij de bouw van de detector en bij het interpreteren van de meetgegevens. Op de website van HSPARC wordt de informatie per cluster bijeen gebracht en kunnen scholieren, docenten en onderzoekers hierover met elkaar in discussie treden. Deelname aan het project geeft leerlingen een goede indruk van de noodzaak van communicatie en samenwerking in modern wetenschappelijk

onderzoek. Scholieren ervaren dat hun bijdrage ertoe doet en ze krijgen antwoord op vragen die bij hen opkomen. Hierbij komen zij op een 'natuurlijke' manier met de universiteit en vervolgstudies in contact. Elk jaar worden alle deelnemers voor een symposium uitgenodigd.

De gastlessen die astrofysici op enkele scholen hebben gegeven, blijken veel leerlingen te stimuleren om zich in profielwerkstukken bezig te houden met vragen die met het project te maken

hebben. Deze vragen hebben vaak betrekking op de natuurkunde (elektromagnetisme, deeltjesfysica, optica, relativiteitstheorie, sterevolutie, kosmische achtergrondstraling). Maar ze kunnen zich ook op andere vakgebieden richten, zoals wiskunde (plaatsbepaling met GPS, statistiek met betrekking tot coïncidenties), biologie (straling en weefsel), scheikunde (scintillatiematerialen, atmosferisch chemie), techniek (detectie, signaalverwerking) en informatica (dataverkeer en -representatie, netwer-

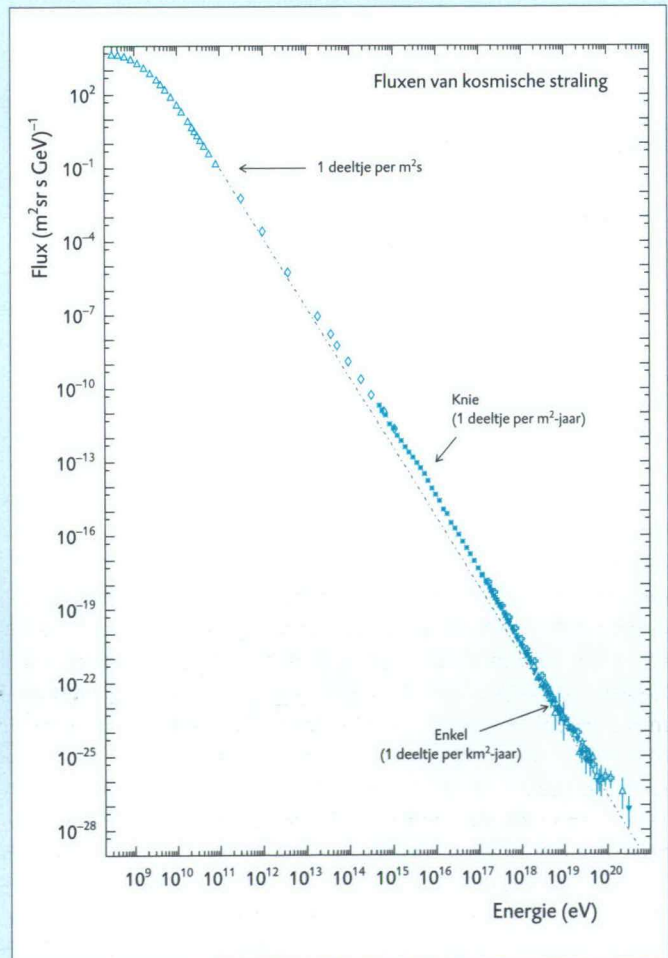
De deeltjes

De aarde wordt voortdurend gebombardeerd door energetische deeltjes en straling uit de ruimte. In het elektromagnetische spectrum zijn dit bijvoorbeeld licht, microgolven en gammastraling. Ook ontvangen we grote aantallen neutrino's van de zon en andere sterren. Een derde component van de kosmische straling bestaat uit geladen deeltjes, zowel protonen als zwaardere atoomkernen. De laatstgenoemde straling werd in de beginjaren van de twintigste eeuw ontdekt door de Nederlander Th. Wulf en verder onderzocht door de Oostenrijker V. Hess. De gemeten energieën variëren van minder dan 10^9 eV tot 10^{20} eV. Bij toenemende energie neemt de waargenomen flux zeer snel af, zoals te zien in figuur 2. De oorsprong van de geladen deeltjes is divers en voor de deeltjes met hogere energie deels speculatief of onbekend. Een aanzienlijke flux van protonen en lichte atoomkernen met energie in het gebied van MeV's tot GeV's per nucleon is afkomstig van de zon. De intensiteit van deze zogenoemde zonnewind is variabel en wordt tegenwoordig uitvoerig in de gaten gehouden door satellieten, onder andere vanwege zijn invloed op de telecommunicatienetwerken. De deeltjes met hogere energie tot ongeveer 10^{15} eV per nucleon komen uit ons eigen melkwegstelsel. Ze worden bijvoorbeeld geproduceerd in schokgolven rond supernova's.

Een klein aantal deeltjes heeft een nog hogere energie en is mogelijk van extragalactische oorsprong. Deeltjes met energieën van meer dan een paar keer 10^{19} eV kunnen echter niet van heel ver weg komen, omdat ze verstrooid worden aan de kosmische achtergrondstraling en zo hun energie snel kwijt raken.

Een moeilijkheid bij het zoeken naar de oorsprong van de geladen deeltjes in de kosmische straling is dat ze worden afgebogen door de zwakke maar uitgestrekte magneetvelden in de kosmos. Alleen van de deeltjes met de allerhoogste energieën kan de richting waaruit ze komen mogelijk informatie bevatten over de bron.

JWVH



Figuur 2 Gemeten flux van kosmische stralen (compilatie van Swordy).

ken, websites maken). Een eenmaal opgezet netwerk kan gebruikt worden voor andere projecten en vormen van onderzoek. Uitbreiding van de detectoren met een meteorologisch meetstation is makkelijk te realiseren en geeft leerlingen mogelijkheden naar atmosferische verschijnselen te kijken, bijvoorbeeld in het kader van aardrijkskunde en scheikunde.

HISPARC bereikt niet alleen de groep geïnteresseerde bèta-leerlingen. De meeste docenten in het Amsterdamse netwerk bespreken het project met hun leerlingen in het vak algemene natuurwetenschappen of met de leerlingen in het profiel 'Natuur en Gezondheid'. Eén van de scholen die aan het project deelneemt, heeft op een centraal punt een vitrine gemaakt met daarin een monitor waarop de actuele meetgegevens worden getoond. Daarnaast is ruimte voor een poster met uitleg, die door alle leerlingen die langskomen wordt opgemerkt. Bij verschillende vakken kan dit

worden gebruikt als aanknopingspunt om te praten over de structuur en de evolutie van het heelal, of over het effect van deeltjes en straling op mensen en apparaten.

INTERESSE WEKKEN

Misschien is HISPARC een toevallige kruimel die van de tafel van de wetenschap valt. De toekomst zal leren of het ook een bijdrage is aan een kentering in de manier waarop het contact tussen scholen en de wetenschappelijke wereld wordt vormgegeven. Een goed teken is dat het project tot nu toe groot enthousiasme oproept bij leerlingen, docenten en directies in het voortgezet onderwijs, en dat bij een flinke groep leerlingen de handen jeuken om aan de slag te gaan. De initiatiefnemers hopen door middel van het project nog bij veel leerlingen interesse te wekken voor modern wetenschappelijk onderzoek en dan met name in de natuurwetenschappen.

FVL

NAHSA is in 2001 gestart aan de KUN met het ontwerp van een detectorstation en het verzamelen van de nodige hardware. Daarnaast is contact gelegd met twee middelbare scholen, de Nijmeegse Scholengemeenschap Groenewoud en het Stedelijk Gymnasium in Nijmegen. Deze scholen liggen op ongeveer vijfhonderd meter en drie kilometer van de KUN. De onderlinge afstand is ook ongeveer drie kilometer. Tussen twee stations met een afstand van vijfhonderd meter zijn dagelijks een handvol coincidenties, veroorzaakt door hoog-energetische kosmische deeltjes, te verwachten, en voor een afstand van drie kilometer ongeveer één per maand. Daarnaast zijn er ook nog toevallige coincidenties die worden veroorzaakt door twee laag-energetische deeltjes die tegelijkertijd op verschillende plaatsen arriveren. Een opstelling met meerdere stations geeft de mogelijkheid de kans op toevallige coincidenties te verkleinen.

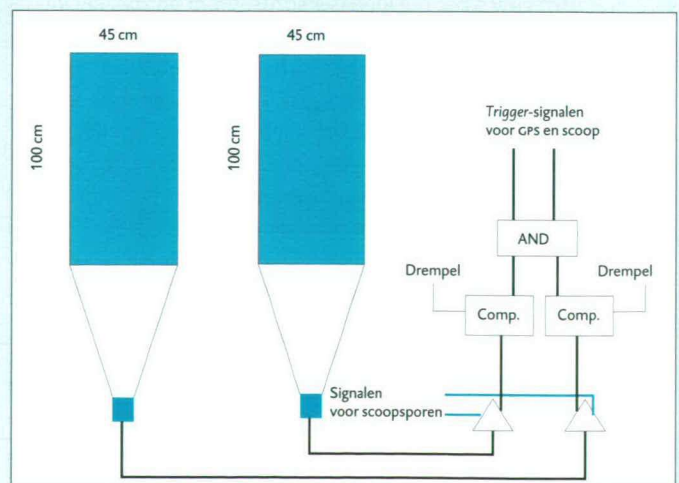
Het detectiestation

Bij de meting van de deeltjesdichtheid op aarde wordt gebruik gemaakt van scintillatiemateriaal. Dit materiaal bevat een stof waarvan de atomen in een aangeslagen toestand worden gebracht wanneer geladen deeltjes met relativistische snelheid het materiaal binnenkomen. De aangeslagen atomen verliezen hun energie door fotonen uit te stralen, er wordt een lichtflits gegenereerd. De lichtsterkte is evenredig met de totale hoeveelheid energie die aan de scintillator wordt afgestaan en is hierdoor afhankelijk van het totale aantal geladen deeltjes dat gelijktijdig door het materiaal gaat. Een station wordt opgebouwd uit twee scintillatorpanelen die drie meter van elkaar liggen. Om de datastroom te reduceren dienen door beide platen (van 0,5 m² per stuk) gelijktijdig deeltjes te gaan (zie figuur 3). Aangezien we geïnteresseerd zijn in gebeurtenissen waarbij de deeltjesdichtheid groot is, levert deze eis geen verlies van interessante gegevens op. De lichtflitsen worden door fotoversterkerbuizen omgezet in elektrische signalen. De signalen worden met behulp van een oscilloscoopkaart in een pc vastgelegd. Van beide platen is dan de gedigitaliseerde pulsvorm beschikbaar voor verdere verwerking.

Om de gegevens van de meetstations te kunnen correleren, dient iedere meting van een exact tijdstempel te worden voorzien. Het geïntegreerde *Global Positioning System* (GPS) levert een kloksignaal met een precisie van honderd nanoseconde. Bovendien geeft het GPS een nauwkeurige positie van de meetopstelling. Vervolgens worden de data via internet naar een centrale computer getransporteerd. Op die centrale computer worden de data van alle individuele stations binnen een cluster gecombineerd. Gezocht wordt

naar signalen die vrijwel gelijktijdig (binnen enkele microseconden, afhankelijk van de afstand tussen de stations) worden geregistreerd. Uit de tijdsverschillen tussen de stations kan de richting van de deeltjesregen worden bepaald. Vervolgens worden de metingen van de deeltjesdichtheid gebruikt om de oorspronkelijke energie van de kosmische straling te bepalen. In de toekomst wordt de volledig gereconstrueerde gebeurtenis via het internet beschikbaar gesteld aan de scholen.

BvE



Figuur 3 Overzicht van een detectorstation waarbij de actieve elementen en de uitlezing zijn weergegeven.



Figuur 4 Installatie van een detector op het dak van het Stedelijk Gymnasium in Nijmegen.

DE OPBOUW VAN HET EXPERIMENT

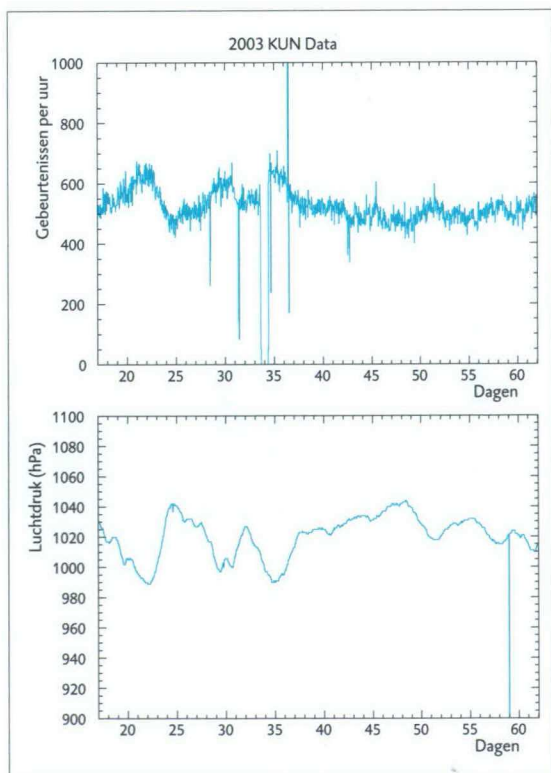
De eerste drie stations in Nijmegen zijn door studenten in elkaar gezet. Ook de programmatuur voor het inlezen van de data bij de detectorstations met de pc en het versturen naar een centraal punt is door deze studenten gemaakt. Een cruciaal aspect van NAHSA is dat de gegevens niet alleen vanuit de scholen naar de KUN worden verstuurd, maar dat de gegevens van het gehele experiment voor iedere deelnemer toegankelijk zijn.

Dat wil zeggen dat via het internet de data van alle stations beschikbaar zijn, en dat bovendien de coïncidenties opgevraagd kunnen worden. Daarnaast is er een visualisatieprogramma waarmee de interpretatie van de data (ofwel de inslag van een hoog-energetisch deeltje) zichtbaar gemaakt wordt.

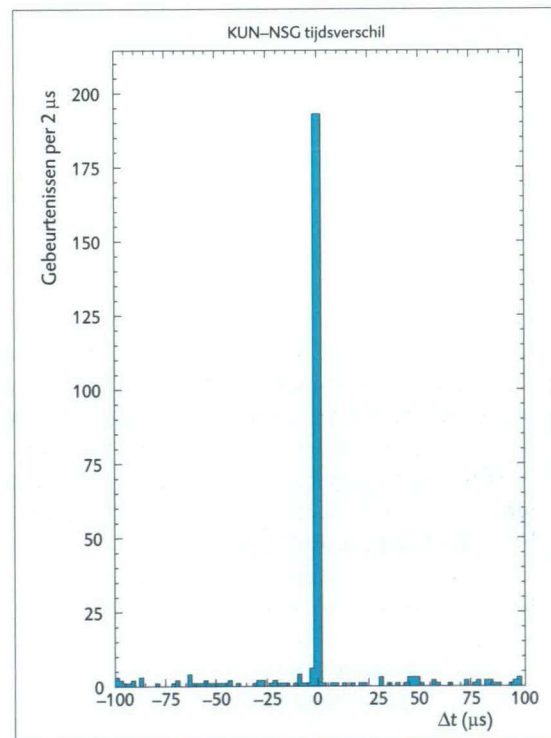
Op 31 mei 2002 zijn de detectoren met hulp van de scholieren geplaatst op de daken van de twee scholen (zie figuur 4). In de weken daarvoor was de detector al

geplaatst op het dak van de universiteit. Om de detectorelementen tegen weer en wind te beschermen, zijn ze, zoals op de foto te zien is, in autodakkoffers gelegd.

Gedurende 2002 is er intensief contact geweest tussen de wetenschappelijke staf van de KUN, de betrokken leraren, de studenten en de scholieren. De docenten en scholieren zijn meerdere malen op de KUN geweest om op de hoogte te blijven van de ontwikkelingen met betrekking

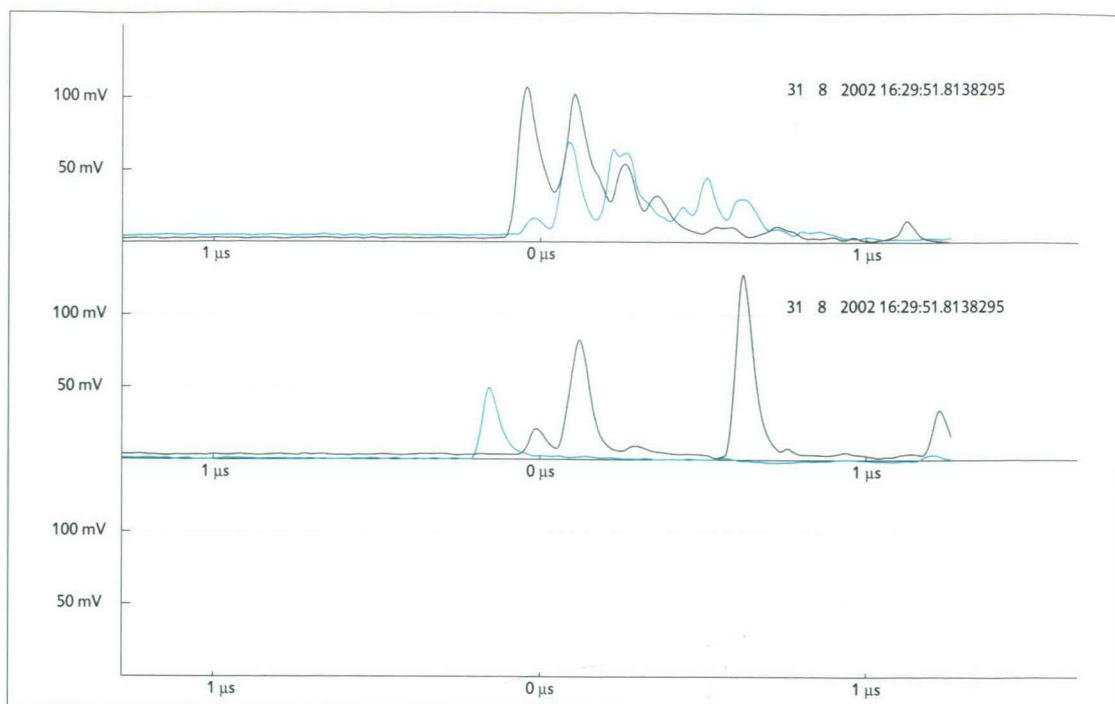


Figuur 5 Gemeten effect van de luchtdruk op de datastroom van een enkel station.



Figuur 6 Aantallen coïncidenties, gemeten tussen de KUN en de Nijmeegse Scholengemeenschap Groenewoud (NSG), als functie van het tijdsverschil tussen de stations.

Figuur 7
 Signaal van een gebeurtenis als
 waargenomen op drie stations.
 De grijze en groene curves cor-
 responderen met de twee
 detectoren op elk station.



tot de bouw van de detectoren, en om vragen te stellen over het project. Daarbij bleken de studenten een natuurlijk aanspreekpunt te vormen voor middelbare scholieren die een profielwerkstuk over NAHSA wilden maken. Dit alles heeft geleid tot drie afstudeerverslagen en drie profielwerkstukken over NAHSA. De profielwerkstukken zijn op de KUN gepresenteerd aan alle mensen die bij het experiment betrokken zijn.

DATA

De meetgegevens van een station worden alleen in een pc opgeslagen als er een coïncidentie van de twee platen is. Dit is noodzakelijk omdat de individuele platen ongeveer tweehonderd maal per seconde een signaal geven. Door de platen op een redelijke afstand te leggen (ongeveer drie meter) worden er ongeveer tien gebeurtenissen per minuut geregistreerd. Dit is te zien in figuur 5. Het bovenste deel van deze figuur laat het aantal gebeurtenissen per uur zien, terwijl de onderste figuur de luchtdruk laat zien, zoals gemeten door een nabij gelegen weerstation. De horizontale as

geeft de dag aan. In deze grafiek zijn de data weergegeven vanaf 17 januari tot en met 3 maart 2003. Het is duidelijk te zien dat fluctuaties in de datastroom correleren met de luchtdruk. Hoe hoger de luchtdruk wordt, hoe minder gebeurtenissen door het detectorstation worden waargenomen. Om deze afhankelijkheid beter te kunnen bestuderen, hebben we besloten een eigen weerstation aan te schaffen en de data op internet beschikbaar te stellen.

Naast het bestuderen van de gegevens van een individueel station, zoeken we ook naar coïncidenties tussen de stations. We hebben ongeveer vijfhonderd coïncidenties tussen de stations met een afstand van vijfhonderd meter geregistreerd, waarvan 380 in 2002. Deze zijn in figuur 6 uitgezet. Op de horizontale as staat het tijdsverschil tussen de GPS-tijdstempels zoals op de twee stations is gemeten, terwijl de verticale as het aantal gebeurtenissen in een interval van twee microseconden laat zien. De piek rond nul is duidelijk zichtbaar, wat erop duidt dat we hier te maken hebben met gecorreleerde gebeurtenissen.

Daarnaast hebben we een hint van een signaal op een afstand van drie kilometer. De gecorreleerde gebeurtenissen laten bovendien een rijke structuur zien, zoals is weergegeven in figuur 7. Deze figuur geeft aan dat er een correlatie was tussen stations 1 en 2. We zien de *oscilloscope traces* van de beide platen (in grijs en groen) voor elk station. Alleen de bovenste twee grafieken laten data zien, station 3 had geen data en dus is de onderste grafiek leeg. De tijdschaal op de horizontale as is in microseconden, terwijl de verticale as de pulshoogte in millivolts laat zien. De structuur die hier zichtbaar is vergt nadere bestudering, een 'normale' gebeurtenis van een enkel station laat netjes een enkel piekje in beide platen zien.

Deze maanden staat een uitbreiding van NAHSA met vier stations op het programma. Bovendien wordt, zoals al eerder genoemd, de opstelling op de KUN uitgebreid met een weerstation om correcties voor atmosferische invloeden mogelijk te maken.

CHT/JS

GESLAAGD

Promoties Sterrenkunde

21-5-2003: E.K. Verolme (UL): *Dynamical models of axisymmetric and triaxial stellar systems*. Promotor: P.T. de Zeeuw.

22-5-2003: J.D. Kurk (UL): *The cluster environments and gaseous halos of distant radio galaxies*. Promotor: G.K. Miley.

Doctoraal examens Natuurkunde

UL, 20-5-2003: M.D. Ackerman.

UL, 27-5-2003: E. Gevers en A.F. Otte.

VU, 27-5-2003: J.M. de Boer, C. van den Burgh en G.V. Ybeles Smit.

KUN, 26-6-2003: L.J. van den Broek.