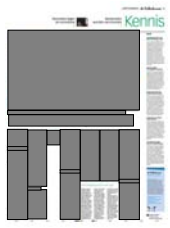
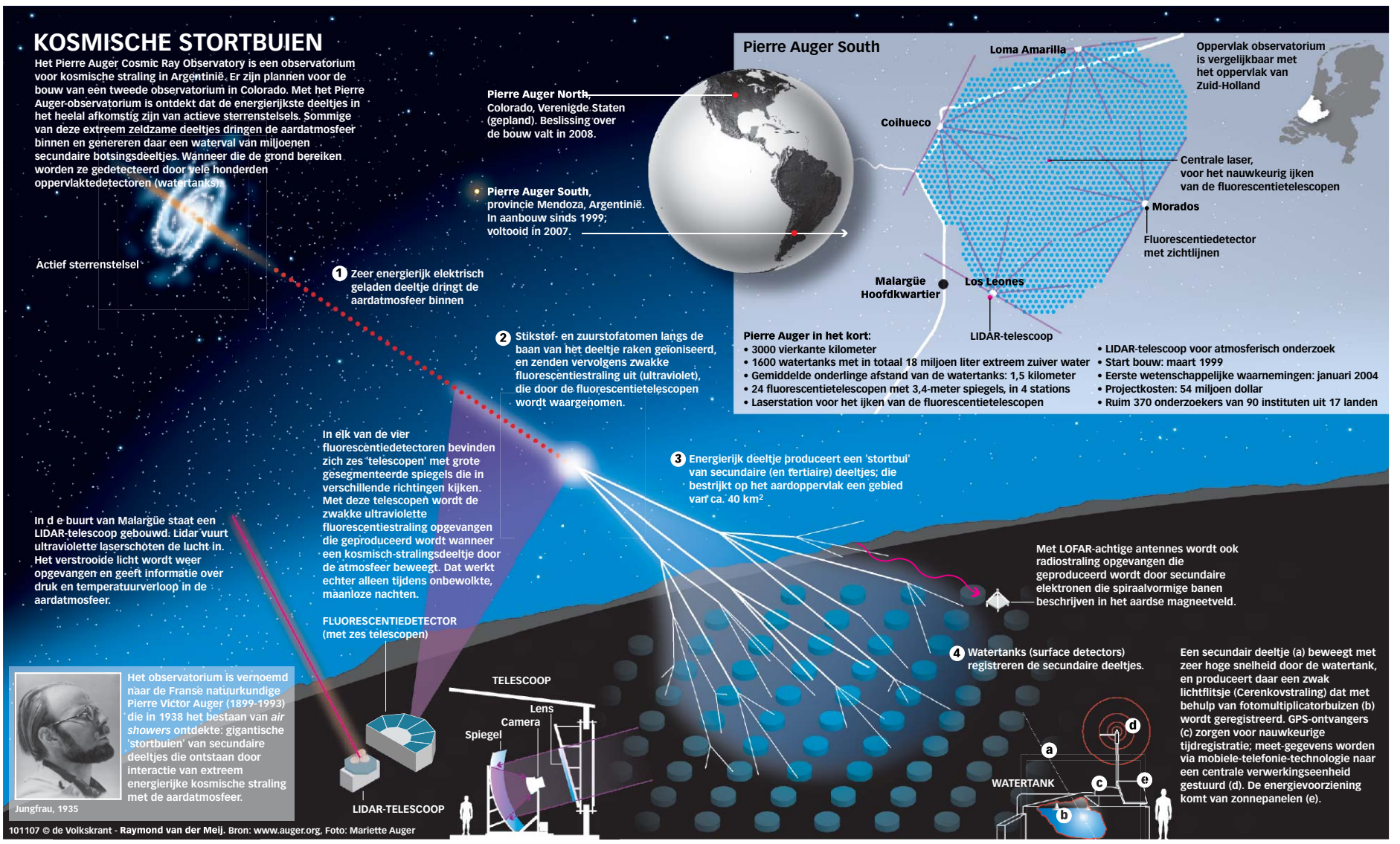
de Volkskrant
10 november 2007 , pag. 1





Auger-observatorium Superzware zwarte gaten blijken bron van extreem energieke kosmische deeltjes

Daar komen de squashballen

Uiterst energierijke kosmische straling is afkomstig van zware zwarte gaten. Dat is net ontdekt met behulp van zestienhonderd jacuzzi's in de pampa van Argentinië. 'Dit is heel overtuigend.'

Door **Govert Schilling**

Zeer uitgestrekt, heel erg stil, en verschrikkelijk zonnig. Ad van den Berg van het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) in Groningen was tweeënhalf jaar geleden voor het eerst op de Argentijnse Pampa Amarilla, waar de afgelopen jaren het Pierre Auger Cosmic Ray Observatory is verrezen. 'Af en toe trekt er een boer langs met een kudde schapen, maar verder ben je vooral heel ver weg van bijna alles', zegt hij. 'De nachtelijke sterrenhemel is er adembenemend.'

Het Pierre Auger-observatorium is geen gewone sterrenwacht. Er worden geen foto's van sterren en planeten gemaakt, en geen radiogolven uit het heelal opgevangen. In plaats daarvan 'kijkt' het nieuwe observatorium naar kosmische straling. Deze week is in *Science* de eerste revolutionaire ontdekking gepubliceerd: de energierijkste kosmische straling is afkomstig van superzware zwarte gaten in actieve sterrenstelsels op vele tientallen miljoenen lichtjaren afstand.

Kosmische straling is helemaal geen straling in de gewone zin van het woord. Het gaat om elektrisch geladen deeltjes uit het heelal, die met extreem hoge energie en met bijna de lichtsnelheid kriskras door de ruimte bewegen. Die deeltjes regenen voortdurend neer op de aarde, waar ze tegengehouden worden in de dampkring. Ze werden daardoor pas in 1912 ontdekt door de Oostenrijkse natuurkundige Victor Hess, die ballontochten maakte met geigertellers aan boord.

Kosmische straling bestaat dus echt uit deeltjes. 90 procent protonen (de kernen van waterstofatomen), 9 procent alfadeeltjes (heliumkernen) en ongeveer 1 procent elektronen. Tastbare materie van buiten de aarde. Onze eigen zon produceert kosmische straling met een relatief lage energie. Andere deeltjes zijn tot enorme energieën opgezweept door schokgolven in supernova-explosies. Maar de herkomst van de energierijkste kosmische straling is altijd een mysterie geweest.

Voor Heino Falcke van de Radboud Universiteit Nijmegen komt de ontdekking van het Pierre Auger-observatorium niet als een verrassing. Falcke is expert op het gebied van actieve sterrenstelsels, en vermoedde al lange tijd dat *ultra high energy cosmic rays* (Uhecrs) afkomstig zijn uit de omgeving van superzware zwarte gaten. 'Maar', zegt hij, 'lang niet iedereen in de kosmische-stralingsgemeenschap had dit resultaat verwacht.' Hoe de deeltjes precies aan hun extreem hoge energieën komen, is overigens nog steeds een raadsel.

Extreem is het allemaal wel. Hoe sneller een elektrisch geladen deeltje beweegt (en hoe zwaarder het is), des te hoger is de energie. De elektronen in de beeldbuis van een ouderwetse televisie hebben bijvoorbeeld een energie van zo'n duizend elektronvolt. Grote versnellers zoals die van CERN in Genève jagen deeltjes op tot een paar honderd miljard elektronvolt. Maar kosmische straling van een supernova haalt met gemak energieën die nog eens duizend keer zo hoog liggen.

Deeltjes hebben soms miljoenen keren meer energie dan de versnellers van CERN kunnen maken

Oh my God-deeltje

De Uhecrs waarvan nu de herkomst is achterhaald, zijn de absolute recordhouders. Zo is op 15 oktober 1991 door een kosmischestralingsdetector in Utah een deeltje geregistreerd met een energie van 320 triljoen elektronvolt. Dat is vergelijkbaar met de bewegingsenergie van een keihard geserveerde squashbal, en honderd miljoen keer zo veel als wat aardse deeltjesversnellers presteren. Geen wonder dat het deeltje het *Oh-my-God-particle* werd genoemd.

Het Pierre Auger-observatorium is speciaal gebouwd om het mysterie van deze kosmische squashballen op te lossen. Niet vanuit een ballon hoog in de dampkring, maar gewoon vanaf de grond. De Franse natuurkundige Pierre Victor Auger (1899-1993) ontdekte in 1938 dat je kosmische straling vanaf het aardoppervlak kunt bestuderen, ook al worden de energierijke deeltjes hoog in de dampkring 'geabsorbeerd'. Als zo'n microscopisch projectiel op een stikstof- of zuurstofatoom knalt, ontstaat er namelijk een gigantische 'waterval' van secundaire deeltjes, waarvan de meeste wél het aardoppervlak bereiken.

De Nobelprijswinnaar James Cronin van de Universiteit van Chicago kwam in 1996 met het idee voor het huidige observatorium. In maart 1999 begon de bouw, en vijf jaar later werden de eerste wetenschappelijke metingen verricht. Inmiddels is 'Pierre Auger' een internationaal samenwerkingsverband van een kleine vierhonderd wetenschappers bij negentig instituten in zeventien landen, en prijkt het observatorium op Argentijnse postzegels. 'Nederland is sinds 2005 volledig lid', zegt Van den Berg van het versnellerinstituut KVI.

Jacuzzi

Pierre Auger lijkt in de verste verte niet op een doorsnee sterrenwacht. De 'detector' bestaat uit achttien miljoen liter extreem zuiver water, verdeeld over zestienhonderd lichtdichte tanks met de afmetingen van een forse jacuzzi. Die zijn verdeeld over een gebied van drieduizend vierkante kilometer – zo groot als de provincie Zuid-Holland. 'Ze staan ongeveer anderhalve kilometer uit elkaar', zegt Van den Berg. 'Het terrein is redelijk vlak, dus als je bij zo'n tank staat, kun je de naaste buren meestal wel zien.'

Elektrisch geladen deeltjes die met bijna de lichtsnelheid door zo'n watertank bewegen, produceren een zwak lichtflitsje (zogeheten Cerenkov-straling), dat opgevangen wordt door gevoelige fotomultiplicatorbuizen. Aangezien een uitwaaierende waterval van secundaire deeltjes (een *air shower*) op de grond al snel een oppervlak van 40 vierkante kilometer beslaat, wordt hij door een groot aantal tanks tegelijk waargenomen. Of liever gezegd: bijna tegelijk – uit de minieme tijdsverschillen kun je de herkomst van de deeltjesbui afleiden.

Daarnaast telt het observatorium 24 lichtgevoelige groothoek-'telescopen'. Die telescopen, met gesegmenteerde spiegels van bijna drieënhalve meter in middellijn, zijn gegroepeerd in vier waarnemingsstations langs de rand van het Pierre Auger-terrein. Elk station bestaat uit zes van die grote spiegels, die allemaal een andere kant op kijken. Zo wordt de hemel boven de pampa nauwlettend in het oog gehouden.

Deze zogeheten fluorescentietelescopen vangen uiterst zwakke ultraviolette flitsen op die ontstaan wanneer een hoogenergetisch deeltje de dampkring binnendringt. Stikstofmoleculen raken door zo'n passerend deeltje namelijk geïoniseerd, en zenden vervolgens fluorescentiestraling uit. Hoe energierijker het deeltje, hoe helderder de flits. Als de fluorescentiestraling door verschillende stations wordt vastgelegd, kun je de baan van het deeltje door de dampkring reconstrueren. Combineer je die informatie vervolgens met de air shower-detecties van de watertanks, dan is een schat aan informatie af te leiden over het oorspronkelijke 'projectiel'.

In de buurt van Malargüe staat ook nog een lidar-telescoop (*light detection and ranging*) waarmee het verticale druk- en temperatuurverloop in de dampkring in kaart wordt gebracht. En in het centrum van het gebied staat een laserinstallatie voor het nauwkeurig ijken van de fluorescentietelescopen.

Pierre Auger bevat ook Nederlandse hardware: voor ongeveer de helft van de *surface detectors* bouwde het bedrijf Variass Electronics bv in Veendam elektronicamodules waarmee het stroomverbruik wordt gemonitord.

De bouw van het uitgestrekte observatorium is op een oor na gevild, zegt Van den Berg. 'Vorige week werd de vijftienhonderdste tank geplaatst. Nog honderd te gaan dus; het schiet op.' Hoewel het project nog niet af is, worden er al vier jaar metingen verricht.

Sindsdien heeft Pierre Auger al ongeveer één miljoen stortbuien van secundaire deeltjes geregistreerd. De meeste daarvan hadden een vrij lage energie, maar 27 *air showers* werden veroorzaakt door kosmische-stralingsdeeltjes met een energie van meer dan 57 triljoen elektronvolt. Voor het eerst is van deze energierijke deeltjes de herkomstrichting bepaald. Eindelijk weten sterrenkundigen waar de kosmische squashballen vandaan komen.

In hun publicatie in *Science* (er volgen er nog meer) laten de Pierre Auger-wetenschappers zien dat de 27 *ultra high energy cosmic rays* niet uit willekeurige richtingen op de aarde af komen. In plaats daarvan vertonen ze dezelfde verdeling aan de hemel als nabijgelegen actieve sterrenstelsels – stelsels met een superzwaar zwart gat in hun centrum.

'De relatie met het actieve stelsel Centaurus A is wel heel overtuigend', zegt Heino Falcke van de Radboud Universiteit. Centaurus A is een van de meest nabije actieve sterrenstelsels. Overigens was al bekend dat deeltjes met energieën van tegen de 60 triljoen elektronvolt nooit van grotere afstanden kunnen komen dan een paar honderd miljoen lichtjaar, omdat ze anders energie verliezen door wisselwerking met fotonen uit de kosmische achtergrondstraling.

Falcke denkt dat de monsterdeeltjes (die snelheden hebben van 99,9999999999 procent van de lichtsnelheid) versneld worden in de krachtige straalstromen van actieve stelsels. Dat kan aan de uiteinden van die jets gebeuren, maar ook in het centrum van het stelsel, vlak bij het centrale superzware zwarte gat. Maar hoe dat precies gebeurt, is niet bekend. 'Er valt nog heel wat meer onderzoek te verrichten', aldus Falcke.

Maanloze nachten

Onder leiding van Van den Berg wordt in Argentinië gebouwd aan een netwerk van kleine, simpele radio-ontvangers (vergelijkbaar met de radio-antennes van de LOFAR-telescoop in Drenthe) waarmee de herkomstrichtingen van kosmische-stralingsdeeltjes nog veel nauwkeuriger bepaald kunnen worden. 'De fluorescentietelescopen werken alleen tijdens onbewolkte, maanloze nachten', zegt Falcke. 'In de praktijk betekent dat: slechts 10 procent van de tijd. De radiowaarnemingen kunnen echter vierentwintig uur per etmaal worden uitgevoerd, ongeacht de weersomstandigheden.'

Vier radio-antennes zijn inmiddels in bedrijf; in 2010 moeten dat er honderd zijn, verspreid over een gebied van twintig vierkante kilometer. Daarmee is een bedrag van 1,2 miljoen euro gemoeid, dat Nederland, Frankrijk en Duitsland bijeen moeten gaan brengen.