

Kosmische straling

De aarde staat bloot aan een voortdurend bombardement van deeltjes uit het heelal: *kosmische straling*. Deze deeltjes zijn kleiner dan atomen, maar ze kunnen extreem veel energie bezitten. Sommige hebben tien miljoen keer meer energie dan deeltjes die met een versneller in het laboratorium kunnen worden gemaakt. We weten weinig over de oorsprong van zulke kosmische deeltjes.

Deeltjes met minder energie komen in grote aantallen van de zon. Ze zorgen soms voor een prachtig effect in de atmosfeer, dat met het blote oog zichtbaar is aan de nachtelijke hemel: het poollicht, *Aurora Borealis* (noorderlicht) of *Aurora Australis* (zouderlicht). Dit ontstaat wanneer zwermen zonnedeeltjes bij een van de polen onze dampkring binnendringen.

De deeltjes met de hoogste energie kunnen echter niet van de zon komen. De natuurlijke processen in de zon zijn daar gewoon niet sterk genoeg voor. Welke natuurverschijnselen in het heelal wel zulke deeltjes kunnen produceren is vooralsnog een raadsel. Evenmin weten we wáár in het heelal deze extreem energierijke kosmische straling ontstaat. Het enige wat we kunnen zeggen is, dat de hoogst-energetische deeltjes uiterst zeldzaam zijn: bovenaan de dampkring komt er jaarlijks per vierkante kilometer gemiddeld niet meer dan één zo'n deeltje binnen.

Het ontdekken van de oorsprong van extreem energetische kosmische straling is een van de grote uitdagingen van de astrofysica.

Op vele plekken in de wereld werken natuurkundigen daarom aan het ontwerpen en opstellen van instrumenten om deze deeltjes waar te nemen en hun geheimen te ontrafelen. Maar je hoeft gelukkig geen geleerde te zijn om mee te doen aan deze jacht; over de hele wereld leveren scholieren een belangrijke bijdrage aan dit onderzoek...

Wat is extreem veel energie voor een kosmisch deeltje?

De grootste deeltjesversnellers ter wereld schieten deeltjes met een energie van een biljoen elektronvolt (eV) op elkaar. Dat is de energie van een erwt die langzaam over een tafelblad rolt. De kosmische deeltjes met de hoogste energie ooit gemeten hadden de energie van een tennisbal geslagen door Andy Roddick— maar die deeltjes waren wel honderd biljoen maal biljoen keer lichter dan een tennisbal.

Welke deeltjes komen voor in de kosmische straling?

De samenstelling van kosmische straling kan ons helpen bij de zoektocht naar de oorsprong ervan. Hoewel kosmische deeltjes van ver in het heelal komen, zijn het dezelfde *subatomaire* deeltjes waaruit ook de aardse materie bestaat.

Atomen zijn opgebouwd uit protonen, neutronen en elektronen. De lichtere elektronen zwermen rond de atoomkern, waarin zich de protonen en neutronen bevinden. Het aantal protonen bepaalt de atoomsoort. Het lichtste atoom is waterstof, met een enkel proton in de kern; daarna komt helium met twee protonen en twee neutronen.

Elektronen, protonen en zwaardere atoomkernen komen ook als vrije deeltjes in de natuur voor. Zo'n 75 % van alle kosmische straling bestaat uit waterstof (protonen), and bijna 25 % uit heliumkernen, ook bekend als alfadeeltjes. De rest bestaat uit elektronen, zwaardere atoomkernen, en gammastraling, een zeer energetische vorm van Röntgenstraling.

Er zijn geen aanwijzingen dat de meest energetische kosmische straling een afwijkende samenstelling heeft, maar bedenk wel dat hiervan tot nu toe maar heel weinig uit metingen bekend is.

De ontdekking van de kosmische straling

Rond 1900 ontdekten Henri Becquerel en Marie en Pierre Curie in Frankrijk, dat sommige scheikundige elementen langzamerhand in andere overgaan. Tijdens dit proces komen deeltjes en energie vrij; dit staat bekend als radioactieve straling, en het verschijnsel zelf heet radioactiviteit.

Nader onderzoek van radioactiviteit toonde aan, dat elektroscopen —instrumenten om elektrische lading te meten— spontaan hun lading verloren in de buurt van radioactieve materialen. In het begin van de twintigste eeuw werd de elektroscop daarom voor natuurkundigen een standaardinstrument om straling en radioactieve stoffen te bestuderen.

Het viel hen echter op, dat iedere elektroscop op den duur zijn lading verloor, ook als er geen radioactief materiaal aanwezig was. Dit wees op de aanwezigheid van een laag niveau van achtergrondstraling overal op aarde. De Duitse Jesuïet Theodor Wulf, die les gaf op een college in Valkenburg (in Zuid-Limburg), ontwierp een zeer gevoelige elektroscop. Daarmee onderzocht hij de intensiteit van straling in de Limburgse mergelgrotten en op de Eiffeltoren, en leidde daaruit af dat de straling niet uit de aarde, maar van boven uit de atmosfeer kwam.

In 1912 besloot de Oostenrijker Viktor Hess dit idee systematisch te testen. Hij nam een van de door Wulf ontworpen elektroscopen mee op een aantal vluchten in een heteluchtballon, en vond dat de intensiteit van de achtergrondstraling toenam met de hoogte.

Hess trok de conclusie, dat de straling vanuit de ruimte kwam. Hij noemde het verschijnsel daarom *kosmische straling*. Hoewel men later begreep dat deze straling voornamelijk uit deeltjes bestond, is de term kosmische straling blijven bestaan.

Voor zijn onderzoek naar kosmische straling kreeg Viktor Hess in 1936 de Nobelprijs voor natuurkunde.

Bouw je eigen elektroscop!

Je hebt alleen een stukje metaaldraad, folie, kauwgum of klei en een jampot nodig. Kijk op bladzij 16 voor instructies.

Wat gebeurt er met kosmische straling in de atmosfeer?

Kosmische straling wordt op aarde nooit rechtstreeks waargenomen. We meten de effecten van de wisselwerking tussen de oorspronkelijke deeltjes en de atmosfeer.

Als een kosmisch deeltje de dampkring binnendringt, zal het botsen met stikstof- of zuurstofatomen in de lucht. Dit ontketent een kettingreactie: de brokstukken van deze botsing raken andere atomen, en zo gaat het verder. Het resultaat is een regen van deeltjes in de atmosfeer.

De meeste van deze deeltjes hebben relatief weinig energie. Ze vervallen, of ze worden verstrooid of geabsorbeerd in de dampkring voor ze het aardoppervlak bereiken. Alleen deeltjes met heel veel energie, of deeltjes die lang genoeg leven, bereiken de grond. Een veelvoorkomend deeltje is het muon, een soort zwaar elektron dat ontstaat in kernreacties. Op zeeniveau komen iedere seconde gemiddeld 180 muonen per vierkante meter naar beneden.

Hoe hard gaan kosmische deeltjes?

Hoe meer energie deeltjes hebben, hoe groter hun snelheid. Volgens de relativiteitstheorie is de lichtsnelheid van 300 000 km per seconde de limiet. Alleen massalozes deeltjes bewegen met de snelheid van het licht. De kosmische deeltjes met de hoogste energie hebben een snelheid van 99,99999996 procent van de lichtsnelheid.

Zulke kosmische deeltjes kunnen per seconde zeven keer de aarde rond!

Muonen

Het muon is een van de ongewone deeltjes die in de kosmische straling zijn ontdekt. Het muon is een zwaardere versie van het elektron, met tweehonderd keer zoveel massa, maar met dezelfde elektrische lading. Als deeltje is het muon even elementair als het elektron, maar in tegenstelling tot het elektron is het niet stabiel. Het vervalt gemiddeld na zo'n twee miljoenste seconde, waarbij het overgaat in een elektron en nog lichtere ongeladen deeltjes: *neutrino's*.

Relativiteit en de muonklok

Een muon leeft gemiddeld slechts twee miljoenste seconde. Zelfs als het met de lichtsnelheid beweegt kan het in die tijd nog geen kilometer afleggen. De meeste muonen ontstaan echter rond een hoogte van tien kilometer. Toch meet zelfs de simpelste deeltjesdetector op aarde elke seconde ruim 150 muonen per vierkante meter!

De relativiteitstheorie van Einstein levert de verklaring: als objecten sneller bewegen gaat hun klok langzamer. Omdat de muonen bijna met de lichtsnelheid gaan, leven ze vijf tot tien keer zo lang als normaal. Voor een aanzienlijk aantal muonen is dat lang genoeg om de aarde te bereiken.

Waar komt de kosmische straling vandaan?

Sinds de ontdekking van kosmische straling honderd jaar geleden hebben onderzoekers geprobeerd de herkomst ervan te achterhalen. We weten intussen dat de laag-energetische deeltjes afkomstig zijn van gewone sterren zoals onze zon. Kosmische straling met meer energie komt van zware sterren die aan het eind van hun leven uiteenspatten en slechts een uiterst compacte kern achterlaten (een neutronenster).

De oorsprong van de zeldzame extreem-energetische deeltjes is echter gehuld in raadselen. Natuurkundigen weten niet hoe deeltjes zulke hoge energie kunnen bereiken, een energie die tot een biljoen keer groter is dan die van de energierijkste zonnedeeltjes. Ze komen zeker van buiten ons zonnestelsel, en waarschijnlijk van buiten de melkweg, van ver weg gelegen sterrenstelsels. Iets in het heelal maakt ultra-energetische deeltjes, maar de vraag is *wat?*

Een extra moeilijkheid bij het beantwoorden van deze vraag is, dat de meeste kosmische deeltjes elektrisch geladen zijn. Magnetische velden tussen de sterren en tussen sterrenstelsels veranderen de koers van deze deeltjes, zodat ze niet in een rechte lijn naar de aarde toekomen. Hun aankomstrichting wijst dus niet naar de bron terug, en hun exacte herkomst is niet gemakkelijk vast te stellen.

Hoe kan de kosmische straling ons bereiken?

Het heelal is niet helemaal leeg. Het is onder andere gevuld met een gloed die is overgebleven van de oerknal, het ontstaan van het heelal bijna veertien miljard jaar geleden. Deze zogenaamde *microgolf-achtergrondstraling* kun je voorstellen als een soort mist. Hij belemmert de doorgang van kosmische deeltjes van verafgelegen bronnen, waardoor ze de aarde niet ongehinderd kunnen bereiken. Ze botsen met de achtergrondstraling en verliezen energie; soms komen ze helemaal niet verder.

Vanwege de microgolf-achtergrondstraling is het te verwachten, dat kosmische deeltjes met energie boven een kritische waarde ons niet van heel ver weg kunnen bereiken. Deze kritische energie heet de GZK grens, naar de natuurkundigen die deze voorspelling in 1966 hebben gedaan: Kenneth Greisen, Georgi Zatsepin en Vadim Kuzmin. Deze grens geldt voor deeltjes waarvan de bron verder weg ligt dan ongeveer een honderdste van de diameter van het heelal.

Twee recente experimenten, AGASA in Japan en HiRes in de VS, hebben kosmische deeltjes met energieën boven de kritische grens gemeten. Bij AGASA waren dat er zoveel, dat het vermoeden opkwam dat de kritische grens misschien niet bestaat. Het zou ook kunnen betekenen, dat er een bron van extreem-energetische deeltjes in of relatief dichtbij ons melkwegstelsel te vinden is.

De oerknal

Recente metingen geven aan dat het heelal 13,7 miljard jaar geleden is geboren. Het begon als een dichte en hete soep van subatomaire deeltjes, die snel uitdijde en afkoelde. Op den duur ontstonden daaruit sterren en planeten, maar in de ruimte daartussen bleef de warmtestraling van de oerknal aanwezig. Deze begon met een temperatuur van ongeveer een miljard keer de temperatuur van de zon, maar is door de uitdijning nu afgekoeld tot een kleine drie graden Kelvin boven het absolute nulpunt (270° onder nul).

Hoe kun je kosmische straling waarnemen?

Als een kosmisch deeltje de dampkring binnenkomt botst het met een atoom, waarbij subatomaire deeltjes ontstaan die op hun beurt met andere atomen botsen. Op aarde zien we daarom niet het oorspronkelijke kosmische deeltje, maar de regen van deeltjes die het in de atmosfeer veroorzaakt. Natuurkundigen proberen meer te leren over de kosmische deeltjes door deze regen in kaart te brengen.

Detectornetwerken

De sproeier van deeltjes die door hoog-energetische kosmische straling wordt veroorzaakt, kan op de grond een betrekkelijk groot oppervlak beslaan: een paar kilometer doorsnee als de deeltjes van tien of meer kilometer hoog komen. De regen wordt in kaart gebracht door de energie en aantallen van verschillende soorten neerkomende deeltjes op een aantal plekken te meten. Daaruit kan behalve de energie ook de aankomsttijd en de richting van het oorspronkelijke deeltje worden bepaald. Voor deze waarnemingen is een netwerk van detectoren op de grond nodig; in het Engels heet zo'n netwerk een *air shower array*.

Akeno Giant Air Shower Array

Het grootste detectornetwerk tot voor kort was AGASA, een netwerk in Akeno in Japan met 111 deeltjesdetectoren op een gebied van honderd vierkante kilometer. Elke detector stond in een kleine hut van 5 vierkante meter, en was gemaakt van vier lagen scintillatiemateriaal, een kunststof die een zwakke lichtpuls geeft als er een elektrisch geladen deeltje doorheen gaat. Op die manier kunnen deeltjes zoals muonen worden waargenomen.

Fluorescentiemetingen

Geladen deeltjes zijn niet de enige meetbare componenten van een deeltjesregen. De stroom deeltjes in de atmosfeer brengt luchtmoleculen in een aangeslagen toestand, waarna deze hun energie weer uitstralen in de vorm van ultraviolet licht (UV). Dit proces wordt *atmosferische luchtfluorescentie* genoemd. Door dit fluorescentielicht waar te nemen kan kosmische straling ook gedetecteerd worden. Dat is echter niet zo makkelijk als het lijkt. Het fluorescentielicht is erg zwak, en kan alleen worden waargenomen met uiterst gevoelige lichtdetectoren op heldere, maanloze nachten in de woestijn, ver van het stadslicht.

Het HiRes Fly's Eye observatorium

In de woestijn van Utah (VS) staat sinds 1997 het HiRes waarnemingsstation voor fluorescentielicht, bestaand uit spiegels en lichtversterkers opgesteld als de facetten van een vliegenoog (Fly's Eye).

Lichtversterkers

Lichtversterkers of fotobuizen vormen het standaard gereedschap van natuurkundigen om zwak licht waar te nemen. Ze maken gebruik van het *foto-elektrisch effect*, een proces dat in 1905 door Einstein voor het eerst werd verklaard. Hiervoor kreeg hij in 1921 de Nobelprijs. Volgens Einstein kan een lichtdeeltje, mits het voldoende energie heeft, elektronen uit sommige materialen losmaken. Het glazen venster van een fotobuis is bedekt met zo'n materiaal, zodat licht dat de buis binnenkomt elektronen kan bevrijden.

In de buis worden de bevrijde elektronen versneld in de richting van een metalen plaatje door een spanningsverschil aan te leggen. Bij botsing op dit plaatje kan een elektron meerdere nieuwe elektronen losmaken. Na een aantal herhalingen van dit proces (acht tot tien keer) levert dit een stroom van meer dan een miljoen elektronen. Deze stroom is makkelijk meetbaar. Op zo'n manier zet een fotobuis een zeer zwakke lichtpuls om in een sterk elektrisch signaal.

Om een muondetector te bouwen heb je slechts een lichtversterker en een stukje scintillator nodig. Experimenten met muondetectoren worden uitgevoerd door middelbare scholen over de hele wereld, en ze vormen soms uitgestrekte netwerken, vele malen groter dan AGASA. Leraren en leerlingen krijgen zo inzicht in het opzetten en uitvoeren van een experiment, en het interpreteren van de metingen — en wellicht wordt zo op een dag een van de grote raadsels in de natuurkunde opgelost!

In Nederland is voor dit doel in 2002 HiSPARC opgericht. In vijf clusters over het hele land worden anno 2004 door al meer dan 30 meetstations gegevens over kosmische straling verzameld. Meer informatie over HiSPARC en links naar andere projecten op middelbare scholen over de hele wereld vind je op internet; zie: <http://www.hisparc.nl>.

De combinatiemethode

De beste kosmische deeltjesdetector bestaat uit een combinatie van AGASA en HiRes — m.a.w. een combinatie van een detectornetwerk voor deeltjes en telescopen voor de meting van fluorescentielicht. Zo'n grootschalig instrument, het Pierre Auger observatorium, wordt op dit ogenblik gebouwd in Pampa Amarilla, in Argentinië. Pierre Auger was een Franse natuurkundige die in 1936 als eerste het verschijnsel van deeltjeslawines in de kosmische straling ontdekte.

Radiostraling: LOFAR

Naast fluorescentielicht zendt de stroom geladen deeltjes in een kosmische deeltjeslawine ook zwakke radiostraling uit. Met een gevoelige radioteleskoop zou je die kunnen meten. In Nederland worden op dit moment voorbereidingen getroffen voor het aanleggen van een groot netwerk van radio-ontvangers die samen zo'n uiterst gevoelige radioteleskoop vormen: LOFAR. De aanleg van dit netwerk wordt geleid vanuit het centrum voor radioastronomie in Dwingelo (Drente). Door het HiSPARC-netwerk hieraan te koppelen zou ook een combinatiemeting kunnen worden ontwikkeld. Dankzij de ligging op het noordelijk halfrond zou zo'n netwerk complementair aan het Pierre Auger observatorium zijn.

Bouw je eigen elektroskoop

Onderdelen

- Een grote jampot met deksel
- Klein balletje kouwgom of klei
- Dun zilverpapier (aluminiumfolie), b.v. van een chocoladereep
- 20 cm geïsoleerde draad (b.v. luidsprekersnoer)

Aanwijzingen

1. Maak een gat in het deksel van de jampot.
2. Knip twee rechthoeken van 2,5 x 5 cm aluminiumfolie.
3. Maak een klein gaatje aan de bovenkant van ieder folieblaadje.
4. Steek de draad door het gat in het deksel.
5. Haal aan beide kanten ca. 2,5 cm van de isolatie van de draad af.
6. Druk de kouwgom of klei rond het gat om de draad op zijn plaats te houden.
7. Maak een bolletje van het gestripte stukje draad boven het deksel.
8. Maak twee haakjes van de gestripte draad onder het deksel.
9. Hang eens folieblaadje aan ieder haakje.
10. Zorg dat de stukjes folie dicht bij elkaar en recht naast elkaar hangen.
11. Draai het deksel voorzichtig op de jampot.

Met een elektroskoop kun je elektrische lading meten

Je eigen elektroskoop testen

Haal een kam door je haar of wrijf een ballon op je hoofd of bloes. Houdt de kam of ballon vlakbij het bolletje draad. De elektrische lading zal in gelijke mate op de twee strookjes folie worden overgebracht, zodat ze elkaar afstoten en uiteen gaan staan. Hoe groter de afstand tussen de stukjes folie, hoe groter de lading.

Theodor Wulf, Viktor Hess en anderen bemerkten, dat het metaal in een elektroskoop na verloop van tijd zijn lading verloor; dit verlies van lading kwam doordat geladen deeltjes uit het heelal — de kosmische straling— het metaal bombardeerden.

Wat doet kosmische straling met ons?

Kosmische straling is overal. Het heeft allerlei invloed op ons bestaan — van ons klimaat tot onze genen. Als een geladen deeltje door een wolk gaat, laat het b.v. een spoor van waterdruppeltjes achter. Ook kan kosmische straling veranderingen in de genen van levende wezens veroorzaken, en zo aan hun evolutie bijdragen. Zulke effecten zijn klein maar niet onbelangrijk. Daarom wordt er veel onderzoek gedaan om te achterhalen hoe kosmische straling de geschiedenis van de aarde en het leven heeft beïnvloed.

Het is ook bekend, dat kosmische deeltjes een ongewenste uitwerking op computers kunnen hebben. Ze kunnen b.v. een enkel getal in het geheugen van een computer veranderen. Deze zogeheten *soft fails* zijn op aarde tamelijk onbelangrijk, maar in de ruimte worden satellieten op lange vluchten aan grote hoeveelheden straling blootgesteld, waardoor de kans op problemen aanzienlijk toeneemt.

Kosmische deeltjes maken deel uit van de natuurlijke achtergrondstraling waaraan we op aarde zijn blootgesteld. Op de hoogte waarop straalvliegtuigen vliegen is de intensiteit echter vijftien tot dertig keer zo hoog. Daarom doen luchtvaartautoriteiten ook onderzoek naar de effecten van kosmische straling.

Maar wat de invloed van kosmische straling op ons ook is, we zijn daarom niet minder nieuwsgierig naar waar het vandaan komt en waarom het er is. Deze kleine deeltjes met bijna de lichtsnelheid kunnen ons helpen de natuurwetten beter te begrijpen, en ons helpen onbekende objecten in ons eigen melkwegstelsel of in verre uithoeken van het heelal te ontdekken.

Colofon

Oorspronkelijke titel: *Cosmic extremes*

Oorspronkelijke tekst:

Brian Connolly, Stefan Westerhoff, Segev Ben Zvi, Chad Finley, Andrew O'Neill
(Department of Physics, Columbia University)

Ontwerp: *Karin Woods*

Nederlandse bewerking:

Bob van Eijk, Jan-Willem van Holten, Ilka Tónczos, Jacques Visser (NIKHEF/HiSPARC)

Oorspronkelijk uitgave met steun van de National Science Foundation