

> **Wat is donkere energie?**

> **Waaruit bestaat donkere materie?**

> **Wat is kosmische straling en waar komt deze vandaan?**

> **Hoe is de grootschalige structuur van het heelal ontstaan?**

> **Wat zijn gravitatiegolven en hoe meet je die?**

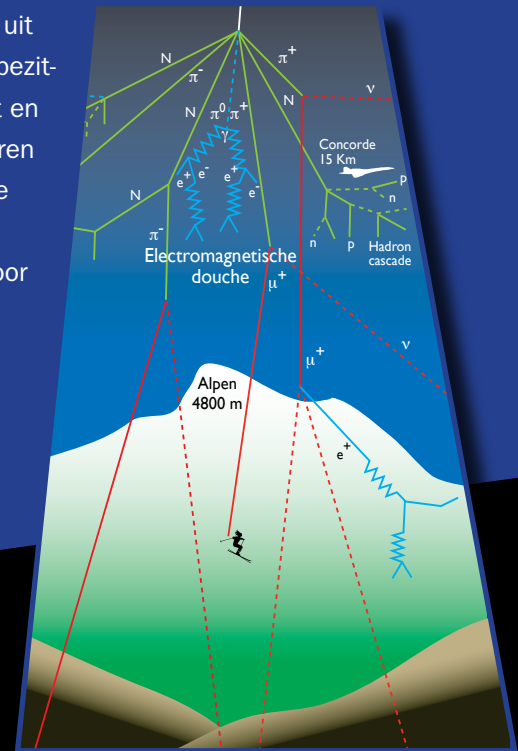
> **Weten astrodeeltjesfysici het antwoord op dit soort vragen?**

Astrodeeltjesfysica

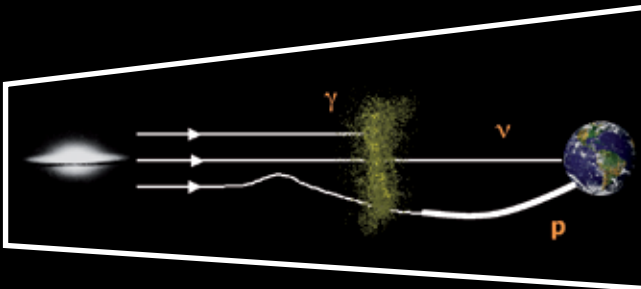
**Sterrenkunde kijkt naar de grote structuren: ons heelal.
Deeltjesfysica bestudeert de allerkleinste bouwstenen van alle materie.
Astrodeeltjesfysica combineert beide uitersten.**

➤ Wat is kosmische straling en waar komt deze vandaan?

Onze aarde ondergaat voortdurend een bombardement van deeltjes uit het heelal. Een klein deel daarvan blijkt onverwacht veel energie te bezitten. Om uit te kunnen zoeken waar dat soort deeltjes vandaan komt en waar ze die energie vandaan hebben, zijn er nieuwe deeltjesdetectoren nodig die geschikt zijn om neutrino's en protonen met een zeer hoge energie waar te nemen. Dat wordt lastig, want de bewuste deeltjes zijn zeer zeldzaam en bovendien vliegen ze meestal onopgemerkt door detectoren heen.



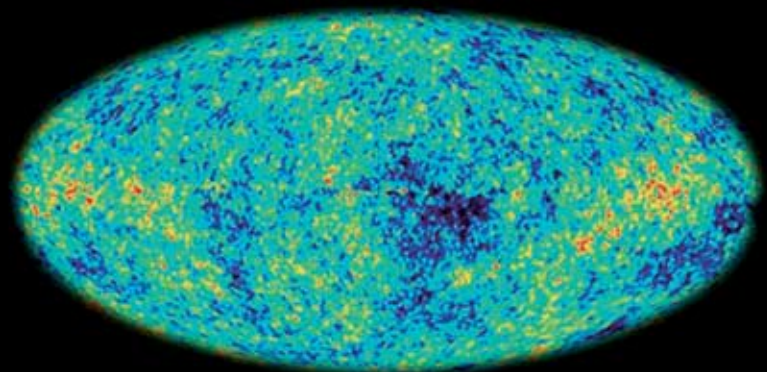
Kosmische deeltjes veroorzaken bij botsing met de atmosfeer een lawine aan allerhande elementaire deeltjes op aarde. ➤



➤ Neutrino's zijn zeer belangrijk voor het onderzoek omdat hun richting precies terugwijst naar waar ze vandaan komen. Dit geldt niet voor andere kosmische deeltjes, zoals protonen die afgebogen worden in magneetvelden, of fotonen die geabsorbeerd worden door bijvoorbeeld interstellair gaswolken.

De vraag naar de grootschalige structuur van het heelal wordt niet op aarde, maar in satellieten in een baan om de aarde bestudeerd. Dit is voor het eerst gelukt met de COBE satelliet (1989-1993), waar de Amerikaanse natuurkundigen George Smoot (foto rechts) en John Mather in 2006 de Nobelprijs voor hebben gekregen. Met de WMAP satelliet (2001-2009) worden veel nauwkeurigere resultaten verkregen.

Hiernaast staat een van de resultaten na een paar jaar meten. De kleurverschillen in de foto geven kleine temperatuurverschillen in het vroege heelal aan, die indirect ook sterke aanwijzingen vormen voor het bestaan van grote hoeveelheden donkere energie en donkere materie in het heelal. ➤



Wetenschappelijke zoektocht op school

Als ware detectives zoeken scholieren en wetenschappers samen naar hoog-energetische kosmische straling. Zij willen meer weten over die mysterieuze deeltjes die constant op ons neer denderen. In **HiSPARC** vormen meer dan veertig scholen en instellingen samen een levensgroot netwerk van detectoren die zoveel mogelijk deeltjes moeten zien te vangen.



> HiSPARC

Wanneer kosmische deeltjes onze dampkring binnenkomen, krijgen ze te maken met diverse obstakels; er zullen botsingen optreden met atoomkernen waarbij processen een rol spelen die op aarde met behulp van deeltjesversnellers bestudeerd worden. Afhankelijk van de grootte van de energie van het primaire deeltje, ontstaat een steeds bredere lawine van secundaire deeltjes. Hoe meer energie, des te groter het oppervlak op aarde dat door de lawine getroffen wordt. De meetpunten op scholen die deelnemen in **HiSPARC** leveren een schat aan informatie. Scholieren komen zo in contact met echt wetenschappelijk onderzoek en dragen hier ook aan bij. Doordat de gegevens voor alle deelnemers beschikbaar zijn, kan iedere scholier onderzoek doen, bijvoorbeeld naar de invloed van het weer en de luchtdruk op het aantal kosmische deeltjes dat gemeten wordt. Ook leren zij veel over het gebruik van technische hulpmiddelen als computergestuurde data-uitlezing en exacte tijd- en positiebepaling met behulp van GPS. www.hisparc.nl



> Hoe werkt dat eigenlijk, neutrino's opsporen?

ANTARES is een neutrinotelescoop in de Middellandse Zee, 40 km uit de kust bij Toulon. Over een oppervlakte van 20.000 m² worden 12 verticale lijnen (kabels) op een diepte van 2,5 km afgezonken. De lijnen zijn bepakkt met ieder 75 fotobuizen, die in groepjes van drie om de 15 meter gemonteerd zitten aan de kabel.

ANTARES gebruikt de aarde tegelijk als filter en als detector. Hoog-energetische neutrino's (>10¹⁰ eV) die door de aarde komen, botsen heel soms op materie en reageren daar dan mee. Er ontstaat dan een muon, dat zich in dezelfde lijn als het oorspronkelijke neutrino voortbeweegt. Als het muon door water gaat, zendt het straling uit, Cherenkov-licht. Dat licht is door fotobuizen waar te nemen! Fotobuizen (photomultiplier tubes of PMT's) zijn een soort omgekeerde gloeilampen: ze zetten licht om in elektrische stroompjes.

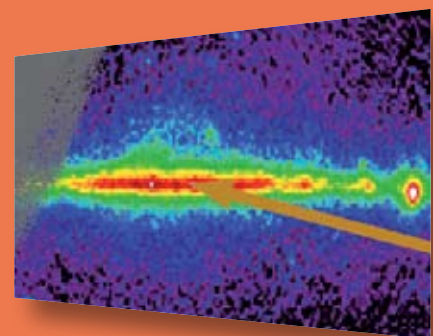


< **ANTARES** detecteert muonen: Een kosmisch neutrino (rood) vliegt met een hoge energie dwars door de aarde. Als zo'n neutrino botst met een atoomkern in de aarde vormt zich een muon (blauw). Bij zijn reis door het zeewater zendt het muon Cherenkov-licht uit dat gedetecteerd wordt door de lichtgevoelige fotobuizen op de detectorlijnen van **ANTARES**.

Door alleen naar muonen te kijken die vanaf de bodem komen, dus van de zuidelijke hemel, worden andere kosmische deeltjes niet gemeten: die zijn door de aarde weggefilterd. Helaas is er een ander storend verschijnsel, namelijk bioluminescentie. Lichtgevende algen en visjes zorgen voor een achtergrond van lichtflitsjes. Alle signalen van de fotobuizen, dat wil zeggen de aankomsttijd en de intensiteit van het Cherenkov-licht, worden via een glasvezelverbinding naar een kuststation doorgegeven. Op basis van deze signalen berekenen snelle computers in het kuststation de richting en energie van het muon en met behulp van verdere selectieprocessen wordt vastgesteld of er nu wel of niet een kosmisch neutrino is waargenomen. Nikhef-wetenschappers en -technici hebben het hele complex van glasvezelverbindingen, computers en software dat hiervoor nodig is, ontworpen, ontwikkeld en gebouwd.

ANTARES is een voorloper van de neutrinotelescoop **KM3NeT**, die twintig keer zo groot zal zijn. Dit **KM3NeT**-project is ook al in voorbereiding. Het is de bedoeling dat wetenschappers daarmee neutrino's van veel verder weg gelegen bronnen waar kunnen nemen.

Zowel **ANTARES** als **KM3NeT** zullen voor het eerst kunnen onderzoeken of het centrum van ons melkwegstelsel (het rode gebied) een bron van hoog-energetische neutrino's is zoals wetenschappers vermoeden. >



“Het idee dat we de aarde tegelijk als filter en als detector gebruiken, is eigenlijk heel slim. Maar het is ook vreemd dat de deeltjes die we meten van de andere kant van de aardbol komen!”

Mieke Bouwhuis, onderzoekster bij Nikhef



➤ Detectorlijnen met fotobuizen

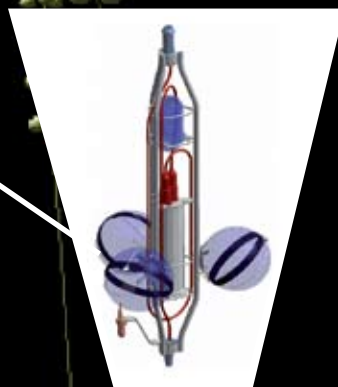
Een set van drie lichtgevoelige fotobuizen tijdens de afzinkoperatie van de detectorlijnen met fotobuizen van ANTARES.

▼



Tekening van een 'optische module', die naast de drie fotobuizen (in de glazen bollen) ook een cilindrische module met alle uitleeselectronica bevat.

▼



> Pierre Auger Observatorium

Midden op de pampa's in Argentinië bouwt het **Pierre Auger Observatorium** een heel ander soort detector – een die bestaat uit 1600 waterbassins, die verspreid zijn opgesteld over een oppervlak van 3000 km². In de waterbassins wordt het Cherenkov-licht van de muonenlawine gemeten. Daarnaast wordt extra informatie verkregen over de deeltjeslawines door naar fluorescentie- en radiosignalen van de kosmische deeltjes te zoeken. Door deze verschillende technieken te combineren krijgen de wetenschappers betere meetresultaten.



^ Bij het Pierre Auger Observatorium worden de energie en de richting van de kosmische deeltjes berekend door de signalen van alle geraakte waterbassins te combineren.

“Al die waterbassins op de Argentijnse pampa. De koeien ertussen, dat is nog eens leuk onderzoek doen!”

Charles Timmermans, wetenschapper bij Pierre Auger/Nikhef en initiator scholierenproject HISPARC



< Een andere detector, genaamd **Virgo**, probeert zogenoemde gravitatiegolven waar te nemen waarmee -indirect- informatie over de bronnen van kosmische straling in het heelal verkregen kan worden. Wetenschappers denken dat het dezelfde bronnen zijn die gravitatiegolven en kosmische straling uitzenden. In de toekomst zal ook een speciaal systeem van drie satellieten worden gelanceerd (**LISA**), die op zoek gaan naar gravitatiegolven, die bij de Big Bang zouden zijn vrijgekomen. De satellieten worden over een jaar of tien in een baan om de zon gebracht en komen op vijf miljoen kilometer van elkaar te staan.

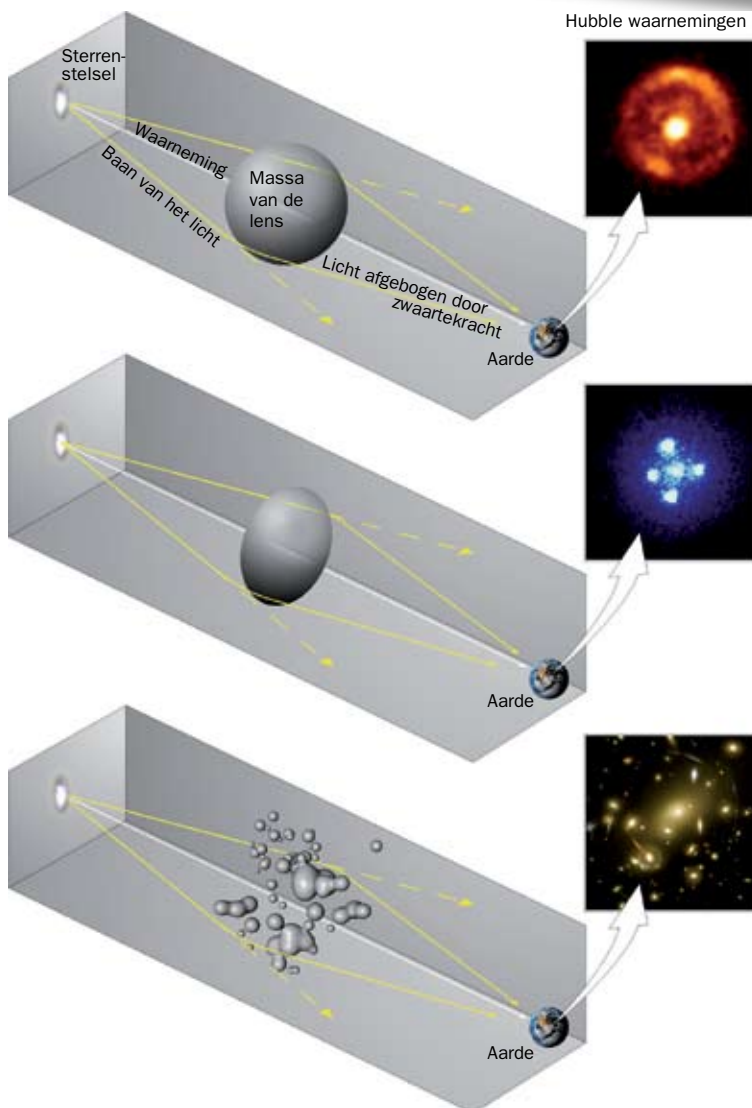
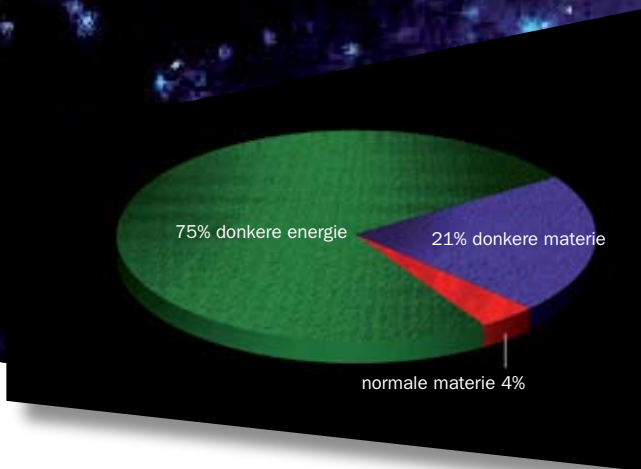
> Wat zijn gravitatiegolven en hoe meet je die?

Gravitatiegolven zijn rimpelingen in de ruimte. De algemene relativiteitstheorie van Einstein voorspelt het bestaan van gravitatiegolven; door de beweging van twee zware massa's om elkaar wordt energie weggestraald in zwaartekrachtsgolven. Dit gaat ten koste van de energie die beschikbaar is voor de baan van de massa's en deze zullen steeds dichterbij elkaar komen. Dit kunnen twee sterren zijn maar ook twee zwarte gaten. De ruimte rimpelt om materie heen onder invloed van de zwaartekracht. De uitgezonden gravitatiegolven kunnen gemeten worden door naar zeer kleine verplaatsingen van spiegels te kijken waartussen laserlicht heen en weer kaatst. Dit kan nog nauwkeuriger door naar zogeheten interferenties tussen twee laserbundels te kijken, zoals dat gebeurt bij het **Virgo** observatorium in Pisa. **Virgo** heeft twee 'armen' met een lengte van drie km waarin het laserlicht vele malen heen en weer gaat. Deze opstelling is gevoelig voor verplaatsingen ten gevolge van de passage van een zwaartekrachtsgolf van 10⁻²² meter. Dit project draagt indirect ook bij aan de eerste vraag: waar komen kosmische stralen vandaan? De objecten in het heelal waar **Virgo** naar kijkt zijn mogelijk dezelfde die kosmische straling uitzenden. En veelbelovende combinatie dus!

➤ Wat is donkere energie en waaruit bestaat donkere materie?

De grenzen van onze kennis zijn duidelijk. Uit recente sterrenkundige waarnemingen is gebleken dat 96% van het heelal bestaat uit onbekende vormen van materie en energie, die hieronder als 'dark' zijn aangegeven.

Er valt dus nog veel te ontdekken in de natuurkunde. ▼



▲ *Massa buigt licht af. Uit waarnemingen met de Hubble-telescoop concluderen wetenschappers dat in het heelal meer massa is dan we kunnen zien.*

Hoe weten we dat er zoveel (96%!) onbekende massa en energievormen in het heelal aanwezig zijn? Uit de afbuiging van licht dat afkomstig is van verre bronnen in de ruimte kun je afleiden hoeveel materie voor die afbuiging nodig is. Dat blijkt veel meer te zijn dan de materie die (in de vorm van sterren) licht uitstraalt. Deze onbekende materievorm wordt donkere materie genoemd, waaruit 23% van ons heelal lijkt te bestaan. Theoretici hebben slechts vage vermoedens waaruit donkere materie zou kunnen bestaan.

Het heelal onstond uit een Big Bang en wordt alsmaar groter. Dat proces gaat steeds sneller, en ook sneller dan verwacht, zoals een jaar of tien geleden werd ontdekt. Sindsdien rekenen natuurkundigen zich suf: hoe kan dit?

Alleen een grote hoeveelheid extra energie in het heelal zou dit verschijnsel kunnen verklaren, en deze onbekende energievorm noemen we donkere energie. Materie beweegt zich door toedoen van deze onbekende energie uit elkaar, als een soort **anti-zwaartekracht**. Ons heelal blijkt voor 73% uit deze donkere energie te bestaan.

➤ Samen werken aan Astrodeeltjesfysica

Het Nationaal instituut voor subatomaire fysica (**Nikhef**) is een onderzoeksinstituut op het gebied van de (astro)deeltjesfysica. Nikhef onderzoekt de kleinste bouwstenen van materie, zowel op aarde als in kosmische processen met behulp van telescopen en detectoren. **Nikhef** is een samenwerkingsverband tussen de stichting Fundamenteel Onderzoek der Materie (**FOM**) en vier universiteiten: de Universiteit van Amsterdam (**UvA**), de Vrije Universiteit Amsterdam (**VU**), de Radboud Universiteit Nijmegen (**RU**) en de Universiteit Utrecht (**UU**). www.nikhef.nl

Alleen door samen te werken kan Nederland meedoen met de onderzoeksprojecten waarvoor deze grote detectoren en telescopen nodig zijn. Er bestaat in Nederland inmiddels een netwerk van onderzoekers in de astrodeeltjesfysica, vertegenwoordigd door de Commissie voor Astrodeeltjesfysica Nederland (**CAN**). Deze commissie bevordert de samenwerking en langetermijnplanning in dit nieuwe gebied binnen Nederland. www.astrodeeltjesfysica.nl

In Europa hebben verschillende onderzoeksorganisaties (zoals FOM in Nederland) samen het initiatief genomen een plan te maken voor de toekomst van de astrodeeltjesfysica. **ASPERA** is de naam van dit door de Europese Unie (EU) gesteunde samenwerkingsverband. www.aspera-eu.org



“Er zijn grote Europese observatoria nodig voor het onderzoek in de astrodeeltjesfysica. Die bouw je niet alleen.”

Gerard van der Steenhoven, voorzitter CAN, programmaleider bij Nikhef en hoogleraar in Groningen.



Nikhef

Nationaal instituut voor subatomaire fysica

Postadres:
Postbus 41882
1009 DB Amsterdam

Bezoekadres:
Kruislaan 409
1098 SJ Amsterdam

Telefoonnummer: +31 (0)20 592 2000
Faxnummer: +31 (0)20 592 5155
www.nikhef.nl