

## > Zijn zwaartekrachtgolven meetbaar?

Ruimte rimpelt om materie heen onder invloed van de zwaartekracht. We noemen deze ruimterimpelingen zwaartekrachtgolven. De relativiteitstheorie van Einstein voorspelde reeds het bestaan van deze golven; als twee zware massa's (bijvoorbeeld twee sterren of twee zwarte gaten) om elkaar heen bewegen, verliezen ze energie door uitzending van zwaartekrachtgolven. Dit gaat ten koste van de energie die nodig is om de massa's in hun baan te houden. Ze zullen dus steeds dichterbij elkaar komen.

Nikhef wil graag weten of zwaartekrachtgolven ons iets kunnen leren over de oorsprong van kosmische straling. Je kunt zwaartekrachtgolven meten door gebruik te maken van spiegels waartussen laserlicht heen en weer kaatst. Dat gebeurt onder andere bij VIRGO in Pisa (Italië). In de toekomst komen daar in de ruimte drie satellieten bij. Dat trio heet LISA.



### VIRGO

VIRGO bestaat uit twee 'armen' met een lengte van 3 km waarin laserlicht heen en weer gaat. Als er een zwaartekrachtgolf door de detector heen gaat, wordt de lengte van de ene arm een fractie van een atoomdiameter langer dan die van de andere. En hoe minuscuul dat ook is, dat verschil is meetbaar!

### LISA

LISA wordt over een jaar of tien gelanceerd. De drie satellieten waaruit LISA bestaat worden in een baan om onze zon gebracht en komen op vijf miljoen km van elkaar te staan. De werking is in principe hetzelfde als die van VIRGO, maar de armen zijn ruim een miljoen keer zo groot en dat maakt ze een stuk gevoeliger dan de armen van VIRGO.

En zo zijn we in staat nog nauwkeuriger op zoek te gaan naar de zwaartekrachtgolven die bij de Big Bang zouden zijn vrijgekomen en naar signalen van bijvoorbeeld dubbelsterren die deze golven nog steeds uitzenden.

## > En wat meet het Pierre Auger Observatorium dan precies?

Een fractie van de kosmische deeltjes die de aarde treffen, blijkt onverwacht veel energie te hebben. Wanneer de deeltjes onze dampkring binnenkomen vinden heel veel botsingen plaats. Er ontstaat een brede lawine van wat we secundaire deeltjes noemen. Hoe hoger de energie van de binnendringende deeltjes, des te groter het oppervlak op aarde dat door die lawine wordt getroffen.

In het Pierre Auger Observatorium wordt de oorsprong (energie en richting) van deze kosmische straling onderzocht. Het studiecentrum staat midden op de pampa in Argentinië en bestaat uit 1.600 waterbassins, verspreid over een oppervlak van 3.000 km<sup>2</sup>. Ook in deze waterbassins wordt het Cherenkov-licht van muonen gemeten. Daarnaast wordt extra informatie verkregen door radiogolven en diverse lichtsignalen van kosmische deeltjes op te vangen.

## > Scholieren schieten te hulp

Om de oorsprong van het heelal te onderzoeken, werkt Nikhef niet alleen samen met wetenschappers uit alle windstreken van deze aarde. Nikhef doet ook een beroep op scholieren. Daarvoor is het zogeheten HiSPARC-project in het leven geroepen, een mooie manier om scholieren te laten kennismaken met echt wetenschappelijk onderzoek. Op veertig scholen en instellingen helpen scholieren als ware speurdeuzen bij de zoektocht naar hoogenergetische kosmische straling. Gezamenlijk zorgen ze op hun schooldaken voor een levensgroot netwerk van detectoren, die zoveel mogelijk deeltjes proberen te vangen. De meetpunten op scholen die deelnemen aan HiSPARC leveren de wetenschap een schat aan informatie op. Lees er meer over op [www.hisparc.nl](http://www.hisparc.nl).



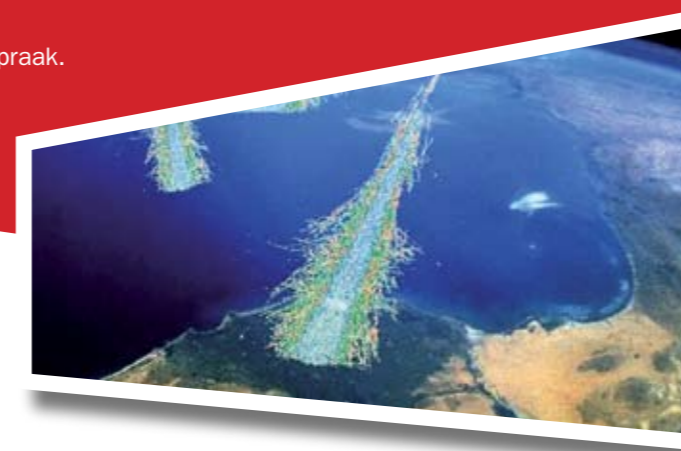
## > Een lawine aan onderzoekgegevens

Al die onderzoeken die Nikhef in samenwerking met andere wetenschappers en scholieren doet, leveren een lawine aan gegevens op. Deze stortvloed aan informatie is zo groot dat zelfs de modernste computers ze niet de baas kunnen. Daarvoor hebben ze eenvoudigweg te weinig opslag- en reken capaciteit. Daarom maken we gebruik van de rekenkracht van héél veel computers verspreid over de hele wereld. We noemen die infrastructuur Grid. Grid zou weer kunnen leiden tot geheel nieuw onderzoek. En dat is maar goed ook, want we hebben nog zoveel te ontdekken voordat we weten hoe het heelal is ontstaan en waar al die superkleine deeltjes en kosmische stralen vandaan komen.

## > Nikhef: groots in kleine deeltjes

Het Nationaal instituut voor subatomaire fysica (Nikhef) is een samenwerkingsverband tussen de stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM), de Radboud Universiteit Nijmegen, de Universiteit Utrecht, de Universiteit van Amsterdam en de Vrije Universiteit Amsterdam. Nikhef coördineert het Nederlandse onderzoek op het gebied van (astro)deeltjesfysica en is gevestigd op het Science Park Amsterdam. In deze folder hebben we een klein tipje van de kosmische sluier opgelicht, maar de wetenschappers die bij Nikhef werken doen nog veel meer. Teveel voor deze folder om op te noemen.

Nieuwsgierig? Bezoek onze website of maak een afspraak.



Nikhef

Nationaal instituut voor subatomaire fysica

Postadres:  
Postbus 41882  
1009 DB Amsterdam

Bezoekadres:  
Science Park 105  
1098 XG Amsterdam

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

© Nikhef 2008

(Eind)redactie & productiebegeleiding: Quite Frankly Communications, Amsterdam / Grafisch ontwerp: Ori Ginale, Krommenie / Fotografie: Nikhef, CERN

> Hoe is het **heelal** ontstaan?

> Wat gebeurde er na de **Big Bang**?

> Wat doen **deeltjesversnellers**?

> Hoe onderzoek je onverstoorbare **neutrino's**?

> Zijn **zwaartekrachtgolven** meetbaar?

# Het Nationaal instituut voor subatomaire fysica zoekt naar de antwoorden!

**Nikhef: groots in kleine deeltjes**



## > Nikhef

Nikhef, het Nationaal instituut voor subatomaire fysica, doet onderzoek naar de allerkleinste bouwstenen van materie. Dat onderzoek noemen we (astro)deeltjesfysica; een vakgebied waarbij met zeer grote detectoren naar heel kleine deeltjes wordt gekeken, zowel hier op aarde als in de ruimte. Op aarde vormen deeltjesversnellers de basis van het onderzoek. Door deeltjes als protonen (waterstofkernen) te versnellen en ze vervolgens te laten botsen met andere deeltjes, komt zoveel energie vrij dat weer andere deeltjes worden gemaakt, vergelijkbaar met de situatie ten tijde van het ontstaan van het heelal. In de ruimte hebben we geen door mensen gebouwde deeltjesversnellers nodig. Daar heb je bijvoorbeeld sterke magnetische en elektrische velden, die ervoor zorgen dat kosmische deeltjes en straling van alle kanten op ons afkomen.

## > Hoe is het heelal ontstaan?

Niemand weet precies hoe het heelal is ontstaan. Er zijn allerlei ideeën over, waarvan de Big Bang of oerknal de meest bekende en ook meest geaccepteerde is. Volgens deze theorie ontstond het heelal 13,7 miljard jaar geleden uit het niets; althans wetenschappers weten niet wat er op het tijdstip  $t=0$  gebeurde. Ruimte en tijd bestonden nog niet, want die zagen het levenslicht tegelijkertijd met de oerknal. De oerknaltheorie is ondermeer gebaseerd op de waarneming dat het heelal voortdurend uitdijt. Nog steeds raken sterrenstelsels verder van elkaar verwijderd.

## > Wat gebeurde er na de Big Bang?

Direct na de Big Bang was het heelal gloeiend heet en werd het bevolkt door heel veel kleine deeltjes. Die deeltjes noemen we quarks, leptonen en bosonen. Onder de laatste rangschikken we bijvoorbeeld de dragers van de zwaartekracht (het graviton) en de elektromagnetische kracht (het foton).

Door het uitdijen van het heelal na de Big Bang namen temperatuur en dichtheid af. Hierdoor klonterden de quarks al snel samen tot protonen en neutronen. Toen het heelal ongeveer één seconde oud was, was de temperatuur al zover gedaald dat uit die protonen en neutronen de eerste atoomkernen werden gevormd. Je kunt dan denken aan deuterium, helium en lithium.

Ongeveer 10.000 jaar later was het heelal zover afgekoeld dat de nog vrij rondzwevende elektronen zich begonnen te koppelen aan die atoomkernen. Deze koppeling van elektronen aan atoomkernen zorgde ervoor dat het heelal doorzichtig werd. De straling die daarbij vrijkwam nemen wij nog steeds waar als achtergrondstraling.

Nog weer later ontstonden sterrenstelsels et cetera, maar daar gaan we hier niet op in. In deze folder schetsen we hoe bij Nikhef de eigenschappen van de allerkleinste deeltjes worden bestudeerd en hoe die samenhangen met wat er vlak na de Big Bang gebeurde.

## > Wat doen deeltjesversnellers?

Een deeltjesversneller is een soort microscoop, en voor microscopen geldt: hoe kleiner je wilt kijken, des te groter het apparaat en zijn lenzen. Om de allerkleinste bouwstenen van materie te kunnen onderzoeken, moeten deeltjesversnellers dus enorm groot zijn. Je vindt ze bijvoorbeeld in Chicago, in Hamburg en net buiten Genève bij CERN, het grootste wereldwijde samenwerkingsverband van deeltjesfysici.



### Large Hadron Collider

De grootste deeltjesversneller op aarde is de Large Hadron Collider bij CERN in Genève, op de grens van Frankrijk en Zwitserland. Ook Nikhef heeft aan deze deeltjesversneller meegebouwd. Hij bevindt zich in een cirkelvormige tunnel van maar liefst 27 km lengte en ligt zo'n honderd meter onder de grond. De versneller is zo ontworpen dat twee in tegenovergestelde richting bewegende bundels van protonen kunnen worden versneld en met elkaar in botsing kunnen worden gebracht. De protonen met hoge energie bewegen in de versnellerring in een vacuüm en worden gestuurd door ruim 9.000 supergeleidende magneten. De protonen botsen bij een energie van 14 Tera elektron Volt (TeV), genoeg om een mini Big Bang na te bootsen. TeV is een eenheid voor energie die in de deeltjesfysica veel wordt gebruikt. Eén TeV staat ongeveer gelijk aan de energie van een rondvliegende mug. Wat de Large Hadron Collider zo bijzonder maakt, is dat deze energie wordt samengeperst in een ruimte die een miljoen keer een miljoen keer kleiner is dan een mug! De snelheden die er gemaakt worden zijn bijna gelijk aan de snelheid van het licht.



Om de botsingen die in de Large Hadron Collider plaatsvinden tot in detail te kunnen bestuderen, beschikken wetenschappers op CERN over vier complexe en megagrote detectoren. In drie daarvan lopen ook Nikhef-wetenschappers rond.

### ALICE

ALICE bestudeert botsingen tussen zware ionen, zoals loodkernen die bestaan uit ruim tweehonderd protonen en neutronen. Als je die op elkaar schiet creëer je een toestand (het quark-gluon plasma), die sterk lijkt op die kort na de Big Bang.

### ATLAS

De ATLAS-detector zoekt onder andere naar nieuwe, nog niet eerder waargenomen deeltjes. Denk aan het Higgs-deeltje dat een prominente rol in de theorie speelt, maar waarvan we eigenlijk niet weten of het wel bestaat.

### LHCb

Met de LHCb-detector wordt onderzocht of er een verklaring is te vinden voor het overschot aan materie ten opzichte van wat we noemen 'antimaterie'. In de theorie spelen deeltjes en hun 'antideeltjes' weliswaar een gelijkwaardige rol, toch bestaat het heelal uit meer materie dan antimaterie. Hoe kan dat? En die samen vormen slechts 4% van het totaal! Waar bestaat de nog onbekende 96% dan uit?

## > Hoe onderzoek je onverstoorbare neutrino's?

Direct na de oerknal – we schreven het al – kwamen onder andere leptonen vrij. Het neutrino is zo'n lepton. Neutrino's zijn erg belangrijk voor onderzoekers omdat hun richting exact terugwijst naar waar ze vandaan komen. In tegenstelling tot andere kosmische deeltjes gaan neutrino's namelijk zo goed als ongehinderd en ongemerkt met miljarden per seconde tegelijkertijd door alles en iedereen heen (ook door jou op dit moment). Een blok lood zou ongeveer 9,5 biljoen km dik moeten zijn om de helft van de neutrino's die er doorheen gaat tegen te houden. Zo onverstoorbaar zijn ze!

Hoogenergetische neutrino's die op andere materie botsen reageren daar heel soms mee en vormen dan een muon, die in dezelfde richting beweegt als het oorspronkelijke neutrino. Als zo'n muon door water gaat, zendt het straling uit. Die straling noemen we Cherenkov-licht.

### Neutrino telescopen

Om neutrino's te kunnen onderzoeken, bouwt Nikhef samen met anderen zogeheten neutrino telescopen. Dit soort detectoren bestaat uit heel grote hoeveelheden materiaal (50 miljoen kilo). Zoveel is nodig om een paar neutrino's per dag tegen te houden om ze vervolgens goed te kunnen bestuderen. Met neutrino telescopen onderzoeken we of het centrum van ons melkwegstelsel inderdaad de bron is van hoogenergetische neutrino's, zoals wetenschappers vermoeden.

### ANTARES

Je vindt zo'n neutrino telescoop (ANTARES) bijvoorbeeld in de Middellandse Zee, ongeveer 40 km uit de kust bij Toulon. Over een oppervlak van 20.000 m<sup>2</sup> en op 2,5 km diepte zijn twaalf kabels in verticale richting afgezonken. Elke kabel is voorzien van 75 fotobuizen, die in staat zijn Cherenkov-licht waar te nemen. De fotobuizen werken als een soort omgekeerde gloeilamp. Een gloeilamp zet elektriciteit om in licht, een fotobuis zet het Cherenkov-licht om in elektrische stroompjes.

De signalen die de fotobuizen opvangen, worden vanuit de diepzeelocatie via glasvezelverbindingen naar een kuststation gezonden om daar nauwkeurig te worden bestudeerd. Nikhef-wetenschappers en -technici hebben meegeholpen het complex te bouwen en in te richten.

### KM3NeT

ANTARES wordt over enkele jaren opgevolgd door KM3NeT. Deze neutrino telescoop wordt maar liefst twintig keer zo groot als ANTARES en komt ook in de Middellandse Zee. Het is de bedoeling met KM3NeT neutrino's te pakken te krijgen uit nog verder weggelegen bronnen in het heelal.