

Rimpels in de ruimtetijd openen jacht op Einstein

De vondst van zwaartekrachtsgolven bewees dat je met meetapparaten zoals Virgo de geheimen van het universum kunt ontrafelen. Bij Nikhef kijkt men al naar de volgende stap: een prestigieuze detector die mogelijk onder Limburgse grond gestalte krijgt.

Door George van Hal

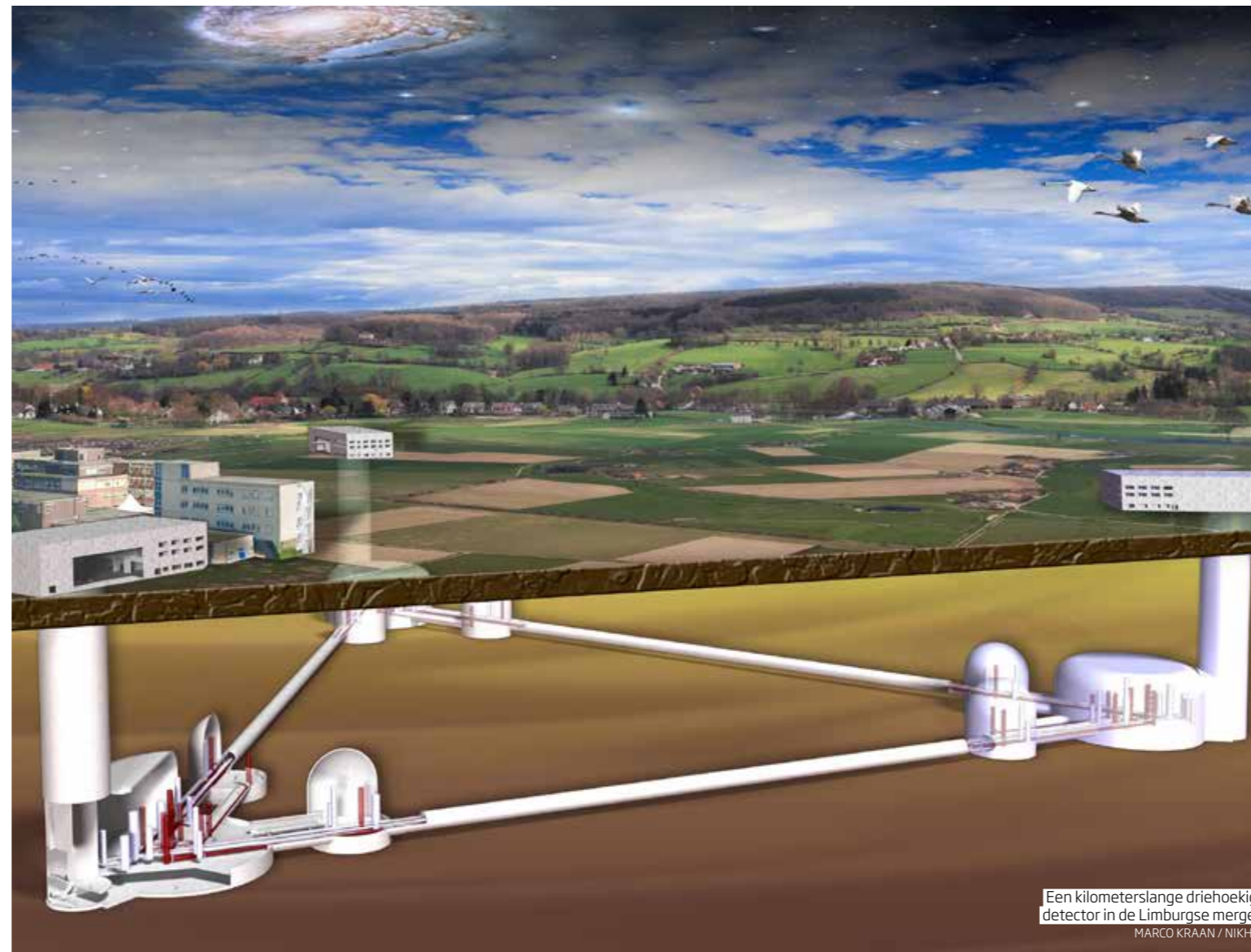
En betekenisloze uithoek van het universum, anderhalf miljard jaar geleden. Hier staan twee zware zwarte gaten op het punt om hun fatale dans te besluiten met een klapper van waarlijk kosmische proporties. Een klap die zo sterk is dat de vierdimensionale werkelijkheid zelf begint te trillen. De rimpeling die dat oplevert, trekt miljoenen eeuwen lang ongemerkt door het heelal. Totdat die eind 2015 een fractie van een seconde lang een splinternieuw meetinstrument in Amerika in beweging zet en daarmee de botsing van zwarte gaten verradert.

Nog maar honderd jaar lang, slechts een fractie van de reistijd van de golf, waren mensen op de hoogte dat dit soort geweldadige gebeurtenissen de ruimte in beroering kunnen brengen. Dat kwam aan het licht in 1915, toen fysicus Albert Einstein, voortbordurend op werk van de Joods-Duitse wiskundige Hermann Minkowski, de werkelijkheid herschikte. Einstein bevestigde dat wij in een

vierdimensionale wereld leven, waarin de tijd een plekje heeft naast de drie ruimtelijke dimensies. Het 'grafiekpapier' waarin die vier richtingen liggen opgesloten, heet sindsdien de ruimtetijd.

Die ruimtetijd is een kneedbaar geheel, waarbij voorwerpen het grafiekpapier kunnen buigen. Hoe meer massa een voorwerp heeft, hoe groter het effect. Vergelijk het met wanneer je een zware bowlingbal op een waterbed legt. Dan ontstaat onder en om die bal een kuil. Leg vervolgens een knikker in die kuil, geef deze een zetje en hij gaat rondjes om de bal draaien. Door de zwaartekracht op die manier te beschrijven, verklaarde Einstein waarom bijvoorbeeld de maan om de aarde draait.

Einsteins wiskundig gegoochel met de vergelijkingen van zijn theorie leverde daarnaast nog een ander eigenaardig inzicht op. Wanneer je rustig op het waterbed duwt, zoals de bowlingbal in het voorbeeld, ontstaat een deuk. Geef er echter een klap op, bijvoorbeeld doordat je diezelfde bowlingbal van een afstandje op het waterbed laat vallen, en het bed gaat ineens rimpelen. Net zoiets bleek te gelden voor de ruimtetijd. Einstein beschreef die bevinding in een



Nikhef-onderzoeker Jo van den Brand ziet de detector al helemaal voor zich. DANNY SCHWARZ



vakpublicatie en sindsdien zijn zwaartekrachtsgolven onlosmakelijk onderdeel van de natuurkundige realiteit.

Volgende stap

Zelf meende Einstein overigens dat die golven te zwak zijn om ooit te meten. Dat vermoeden werd op 14 september 2015 echter resoluut naar de prullenbak verwezen. Die dag maten fysici met het LIGO-experiment in de Verenigde Staten voor het eerst zwaartekrachtsgolven. Daarmee bewezen ze tegelijk Einsteins gelijk en ongelijk. De door Einstein voorspelde rimpelingen in de ruimtetijd bestonden echt en waren inderdaad heel zwak, exact zoals hij dacht. Maar met slimme experimenten konden fysici wel de gelijk die minuscule rimpelingen meten.

Toen de onderzoekers op 11 februari 2016 hun resultaat naar buiten brachten,

was dat een euforisch hoogtepunt van de moderne fysica. Zwaartekrachtsgolven haalden internationaal alle tv-journaals en voorpagina's. In Nederland was het feest op Nikhef, dat een dikke vinger in de pap van het internationale zwaartekrachtgolf-onderzoek heeft. Het is een van de partners van het Virgo-experiment in Italië, het zusterexperiment van LIGO dat tijdens deze meting aan een upgrade bezig was.

Onderzoekers van het instituut, waaronder groepsleider Jo van den Brand, schoven aan tafel bij kijkcijferkanon *De Wereld Draait Door* en haalden landelijk alle kranten. Mooi voor de zichtbaarheid, maar veel belangrijker was dat de meting bewees dat het wetenschappelijke concept achter dit soort detectoren staat als een huis. 'De meting bewees dat je zwaartekrachtsgolven inderdaad kunt meten en dat het soort

bronnen dat deze golven veroorzaakt, echt is,' zegt Van den Brand.

Volgens hem kun je de huidige periode wel vergelijken met de periode na het bouwen van de eerste deeltjesversneller. Ook toen bewees men dat het concept werkte,

De huidige periode is vergelijkbaar met die vlak na de eerste deeltjesversneller

en bouwde men vervolgens stap voor stap steeds grotere en sterkere versnellers, met de Large Hadron Collider in onderzoeksinstituut Cern als voorlopig hoogtepunt. Van den Brand: 'Wil je de fysica straks beter

doorgronden, dan moet je net als toen de volgende stap durven zetten.'

Dark ages

Die volgende stap luistert naar de naam Einstein Telescope. Die zou weleens in Limburg kunnen verrijzen. Het apparaat wordt net als de huidige zwaartekrachtsgolfdetectoren een zogeheten interferometer – in dit geval een driehoekige – waarin laserbundels heen-en-weer kaatsen tussen spiegels. Dat gebeurt op zo'n manier dat de verschillende bundels elkaar continu uitdoven. Althans: totdat een passerende zwaartekrachtsgolf de spiegels een minuscule fractie ten opzichte van elkaar laat afwijken, zodat de uitdoving spaak loopt en de interferometer een signaal registreert.

Einstein Telescope moet de opvolger worden van LIGO en Virgo. 'Natuurlijk

zwaartekrachtsgolven

gaan we bij die twee detectoren alles eruit halen dat erin zit,' zegt Van den Brand. Toch denkt hij alvast een stap verder. 'Op een gegeven moment heb je gewoon een grotere detector nodig,' zegt hij.

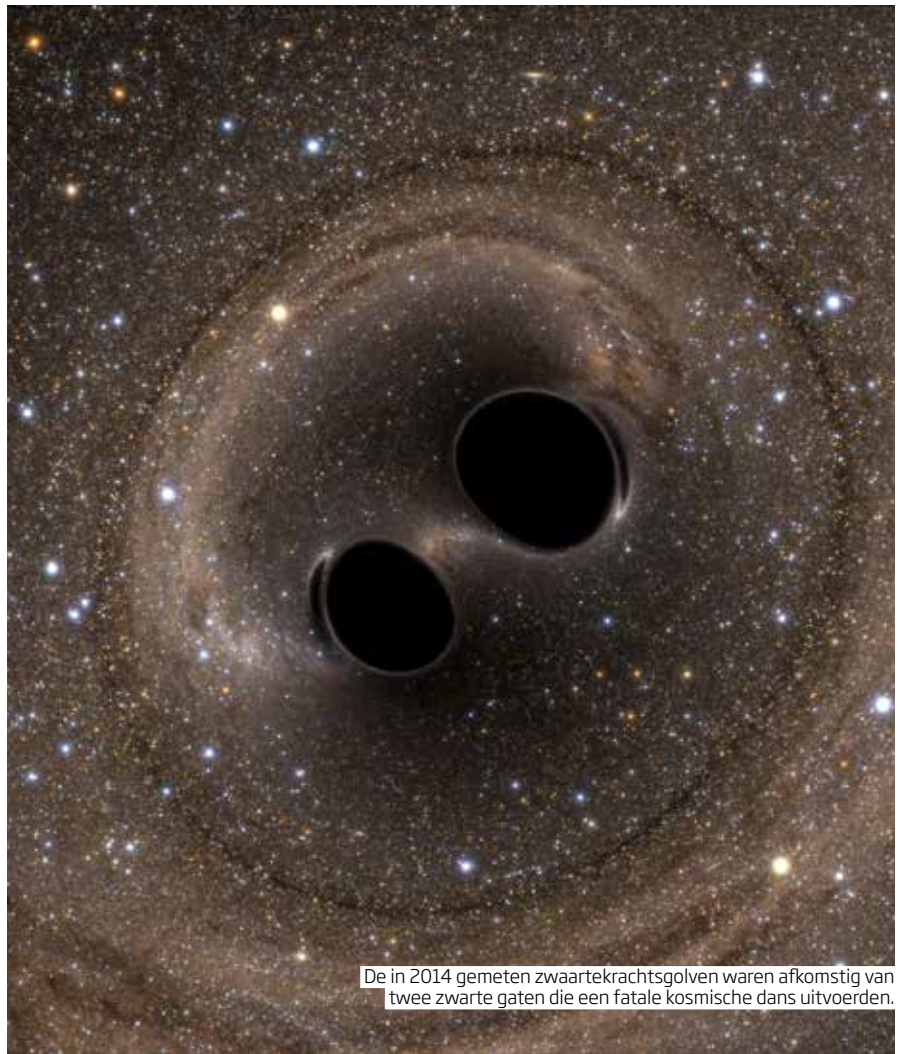
De armen waarin de laserbundels heen- en weer kaatsen worden bij de Einstein-detector daarom langer dan bij LIGO en Virgo: tien kilometer in plaats van respectievelijk vier en drie kilometer. Die langere armen zorgen ervoor dat Einstein Telescope straks kleinere verstoringen kan meten. Bovendien zorgt de ondergrondse ligging ervoor dat de telescoop ruis beter onderdrukt. 'Daardoor wordt Einstein Telescope in totaal een factor tien gevoeliger dan LIGO en Virgo op hun best,' zegt Van den Brand.

Daardoor kunnen astronomen straks honderdduizenden signalen per jaar meten. Op die manier kunnen ze het heelal bekijken tot aan de dark ages: de periode waarin de eerste sterren werden gevormd. Dit opent de deur naar nieuwe en vooral ook veel nauwkeurigere metingen van de evolutie van de kosmos.

De reden dat Limburg voor die detector als serieuze optie op tafel ligt, is de unieke geologie van het gebied. 'Een detector moet zo min mogelijk last hebben van ruis,' zegt Van den Brand, die verantwoordelijk is voor het selecteren van potentiële locaties voor Einstein Telescope. 'Over de hele wereld hebben we gezocht naar plekken waar die ruis zo klein mogelijk is.' Daarbij heeft men bijvoorbeeld ook metingen verricht in oude zoutmijnen, die in verschillende landen te vinden zijn. 'Maar die waren ongeschikt omdat het zout in die mijnen beweegt. Limburg blijkt wel perfect.'

Nieuw venster

Het belangrijkste wetenschappelijke wapenfeit van Einstein Telescope is dat deze de ultieme test van Einsteins relativiteitstheorie mogelijk maakt. Op basis van die theorie stippelden fysici bijvoorbeeld de voorspelde passen van de fatale dans van de zwarte gaten nauwkeurig uit, een patroon dat de zwarte gaten in werkelijkheid heel precies bleken te volgen. Door de theorie met de gemeten praktijk te vergelijken, konden Nikhef-onderzoekers voor het eerst een grens bepalen van mogelijke fouten in de relativiteitstheorie. De conclusie? De theorie kan er niet meer dan 10 procent naast zitten.



De in 2014 gemeten zwaartekrachtsgolven waren afkomstig van twee zwarte gaten die een fatale kosmische dans uitvoerden.

'De Einstein Telescope wordt een factor tien gevoeliger dan LIGO en Virgo op hun best'

Voorlopig zijn de instrumenten van LIGO en Virgo echter nog lang niet uitgespeeld. In de nacht van 25 op 26 december 2015 mat LIGO bijvoorbeeld een tweede set zwaartekrachtsgolven, ditmaal van iets minder zware samensmeltende zwarte gaten. Dat is een teken dat dergelijke signalen een stuk minder zeldzaam zijn dan vooraf gedacht. Ook is het een bevestiging van waar vooral astrofysici stevig op hopen: dat detectoren zoals LIGO en Virgo dienst kunnen doen als telescopen van de toekomst. Nu via elektromagnetische straling – bijvoorbeeld zichtbaar licht en radiostraling – het hele zichtbare universum in kaart is

gebracht, openen zwaartekrachtsgolven een spannend nieuw venster op de kosmos. Een revolutie die je kunt vergelijken met wanneer een dove, die tot voor kort de wereld alleen kon zien, diezelfde wereld plotseling ook kan horen.

De komende jaren moeten uitwijzen of die verwachting uitkomt. Met de mogelijke komst van Einstein Telescope naar Nederland is het voorlopig dus extreem spannend bij de zwaartekrachtsgolfgroep van Nikhef. 'We zouden de faciliteit van Einstein Telescope bouwen voor de komende vijftig tot honderd jaar,' zegt Van den Brand. 'Zodra we technisch verder zijn, kun je in diezelfde ruimte nieuwe apparatuur zetten.'

Als de Einstein-detector inderdaad naar Limburg komt, hengelt ons land daarmee een project binnen waar het nog jaren mee voort kan. Als Van den Brand en zijn collega's gelijk krijgen, wordt Einsteins herschikking van de werkelijkheid straks dus diep in Nederlandse grond vervolmaakt. ■