

‘Ik kon haast niet geloven hoe groot het signaal was’

Deze maand tien jaar geleden deden de twee detectoren van het Amerikaanse observatorium LIGO een baanbrekende meting: de eerste directe waarneming van een zwaartekrachtgolf. Hoogleraar natuurkunde Jo van den Brand blikt terug op die bijzondere tijd en werpt een blik op de toekomst.

Hoe was het, toen u in september 2015 te horen kreeg dat LIGO zwaartekrachtgolven zou hebben gemeten?

“Toen ik ’s ochtends wakker werd, bleek LIGO ’s nachts een signaal te hebben gedetecteerd. Ik kon haast niet geloven hoe groot dat signaal was; je zag het met het blote oog uit de data springen. En dat terwijl ze de apparatuur nog aan het inregelen waren; pas een week later zouden we daadwerkelijk beginnen met meten. Het was ook niet het signaal dat we hadden verwacht. De meeste wetenschappers dachten dat we eerst een botsing tussen twee neutronensterren zouden

meten. In plaats daarvan ging het om een botsing tussen twee zwarte gaten van zo’n dertig zonsmassa’s elk; we wisten toen niet eens dat zulke gaten bestónden.”

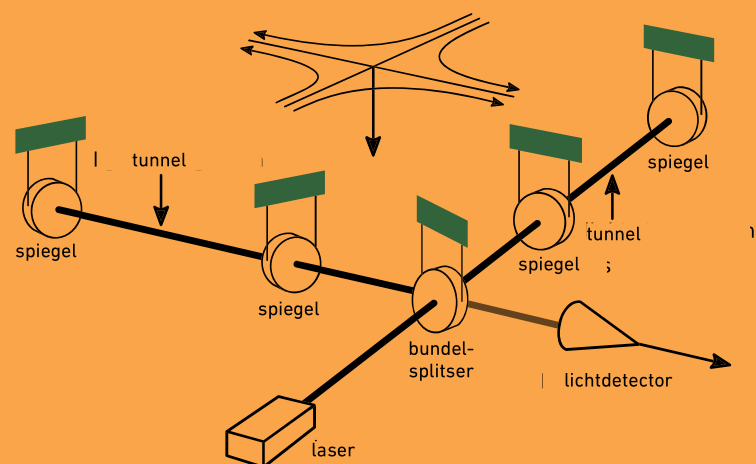
En toen moest er worden nagegaan of het signaal wel echt was?

“Tegelijk met het signaal kwam er een e-mail van de spokesperson van LIGO: ‘Dit is geen oefening.’ Meteen was dus duidelijk dat het signaal niet bij wijze van test was gegenereerd. Vervolgens werd ik lid van het detectiecomité dat uit zo’n tien personen bestond. Toen hebben we mensen geïnterviewd

die aanwezig waren geweest bij de LIGO-detectors: ‘Waarom was je daar? Wat heb je gedaan? Wanneer ben je weggegaan?’ Ook hebben we de computer-logs bekeken, om te zien of iemand iets in de software had geïnjecteerd wat een signaal genereerde. Verder hebben we allerlei rekken met elektronica opengemaakt, om te kijken of daar apparatuur in zat die we niet kenden. Een deel van die rekken kun je alleen niet zomaar openmaken zonder het experiment te verstoren. Die hebben we dus pas kunnen controleren nadat de run eind van het jaar was afgelopen.”

Hoe werkt een zwaartekrachtgolvendetector?

Een detector voor zwaartekrachtgolven zoals LIGO in de VS of Virgo in Europa is een enorme interferometer, die bestaat uit twee tunnels in een L-vorm. Licht uit een laser schijnt op een bundelsplitser, die de helft van de bundel door de ene tunnel stuurt en de helft door de andere. In elke tunnel wordt het licht dan enkele honderden keren heen en weer gekaatst tussen twee spiegels, waarna de bundels uit beide tunnels weer bij elkaar worden gevoegd. In het verlengde van een van beide tunnels staat een lichtdetector opgesteld, die normaal gesproken niets meet door destructieve interferentie van de twee samengevoegde lichtbundels. Maar als een zwaartekrachtgolf de aarde passeert – een trilling in de ruimtetijd – worden de tunnels beurtelings een heel klein beetje uitgerekt en samengedrukt; in de orde van 10^{-18} meter. Daardoor treedt er even geen destructieve interferentie op en meet de fotodetector een signaal.





Jo van den Brand vertelt op FYSICA 2017 over de eerste directe waarneming van een zwaartekrachtgolf (foto: Martin van Lokven).

Uiteindelijk konden jullie zo'n vijf maanden niemand over de ontdekking vertellen. Was dat lastig?

“Nou, het had in elk geval niet nóg langer moeten duren; het begon aan alle kanten te kraken. Mensen uit de sterrenkundegemeenschap wisten bijvoorbeeld wel dat er iets aan stond te komen, maar niet wat, dus die begonnen steeds meer druk op ons uit te oefenen.”

Wist ook je eigen gezin van niets?

“Nee. Op de dag van de bekendmaking zat ik als gast in *De wereld draait door*. Mijn twee dochters gingen mee met de taxi en die wisten niet wat ze overkwam. Nou hadden die sowieso geen idee waar ik op mijn werk mee bezig was. Door de ontdekking heb ik thuis dus wel wat meer erkenning gekregen, haha.”

De Europese tegenhanger van LIGO, Virgo, stond in september 2015 nog niet aan, dus die kon niet in de ontdekking delen.

“Ja, dat was echt supertragisch. Je ziet dan hoe belangrijk het is om op tijd klaar te zijn; om niet te denken dat je alle tijd van de wereld hebt. Dat maakte de ontdekking ook een beetje een anticlimax voor mij. Voor de mensen die de data-analyse van het signaal deden, viel het nog mee, want dat is één grote groep voor zowel LIGO als Virgo, en nu ook de Japanse detector KAGRA. Maar voor de mensen die alleen aan de Virgo-detector werkten, was het heel zuur.”

Wat was dan specifiek het probleem met Virgo?

“In deze detector gaat een laserstraal heen en weer tussen twee spiegels van *fused silica*. Dat is een extreem zuiver materiaal; ideaal om waanzinnig nauwkeurige – maar ontzettend kostbare – spiegels van te maken. Als je zo'n Virgo-spiegel uitvergroot tot het formaat van Amsterdam, dan is de afwijking van een perfecte spiegel minder dan een menselijke haar. Over die spiegel zitten dan ook nog dertig laagjes coating met diezelfde nauwkeurigheid. Dus dat is echt een mees-terwerk van optica. Maar de laagste

ruis heb je als je zo'n spiegel ophangt aan draden van datzelfde *fused silica*, die je als het ware vastsmelt aan de spiegel zelf. Alleen braken die draden bij Virgo steeds doordat een vacuumpomp in de buurt de spiegels met kleine stofdeeltjes bombardeerde. Dan kwam de hele boel omlaag en kon je opnieuw beginnen. Toen ik in mei 2017 spokesperson werd van Virgo, was dan ook het eerste wat ik deed die draden van *fused silica* eruit gooien en die spiegels aan gewoon staaldraad ophangen. Daardoor waren we ineens gevoelig voor zwaartekrachtgolven tot op een afstand van 30 megaparsec, in plaats van 30 kiloparsec. Met die gevoeligheid hebben we vervolgens drie weken meegemeten met LIGO – en in die periode viel toevallig net de eerste waarneming van het samengaan van twee neutronensterren. Dat was geweldig; ik was al blij dat we eindelijk meededen.”

En had het ook wetenschappelijke waarde dat Virgo die botsing kon waarnemen?

“Ja, want met LIGO én Virgo konden we de positie aan de hemel waar die

had plaatsgevonden tot op 15 vierkante graad nauwkeurig bepalen. Dat was met alleen LIGO nooit gelukt. Vervolgens hadden sterrenkundigen binnen een halfuurtje of zo de bron van het signaal te pakken. Dat werd toen gezien als het begin van de multi-messenger-astronomie, waarbij je verschillende signalen waarneemt van hetzelfde verschijnsel. Alleen jammer dat we daarna nooit meer zwaarte-krachtgolven hebben gezien van een neutronenster-merger die astronomen eveneens konden waarnemen. Het probleem is ook: detectoren voor zwaarte-krachtgolven worden gevoeliger en gevoeliger. Daardoor kunnen wij zó diep het heelal in kijken dat de bronnen die we meten erg lichtzwak worden, wat het moeilijk maakt om ook een tegenhanger te hebben in het elektromagnetisch spectrum.”

De volgende grote Europese detector voor zwaarte-krachtgolven moet de Einsteintele-scoop worden, een ondergrondse driehoek met tunnels van zo’n 10 kilometer. U staat aan de wieg van het idee om die in Limburg te bouwen?

“Ja, dat was mijn idee. Van 2008 tot 2011 liep een studie naar de volgende generatie van zwaarte-krachtgolfde-tectoren en ik was verantwoordelijk voor de siteselectie. Daarvoor hebben we

toen rond de vijftien ondergrondse sites in Europa bezocht. Om mijn ap-paratuur te kunnen kalibreren, heb ik contact gezocht met het KNMI. Daar werd ik doorverwezen naar hun stilste meetstation, bij de Heimansgroeve in Limburg. En toen kwam ik er dus bij toeval achter dat die plek erg geschikt is voor een zwaarte-krachtgolvendec-tor. De geologie bestaat namelijk uit harde rots, met daarbovenop zo’n 100 meter zachte bodem. Die zachte bodem dempt de trillingsenergie aan het oppervlak, van bijvoorbeeld industrie, windmolens, auto’s en treinen, met ongeveer een factor tienduizend. En in die harde rots daaronder kun je prima boren; dat is wel aangetoond in de tijd dat er meer dan 1000 kilometer aan mijngangen is aangelegd.”

De belangrijkste andere locatie die wordt overwogen voor de Einsteintele-scoop is het Italiaanse eiland Sardinië. Is de bodem daar net zo gunstig?

“Nee, dat is gewoon één blok graniet. Als je daar met een hamer op de grond slaat, klinkt die klap 100 meter onder het oppervlak nog even hard. Het voordeel van Sardinië is dan weer dat er bijna niemand woont, waar-door er minder trillingen zijn. Maar ik vind dat niet zo’n goed argument. Het

aantal topuniversiteiten, topinstituten en topindustrieën dat we hier hebben is gewoon adembenemend. Die maken de grensregio van Nederland, België en Duitsland tot een plek waar een faciliteit als de Einsteintele-scoop helemaal tot bloei kan komen. In Sardinië zou zoiets nog helemaal van de grond moeten komen.”

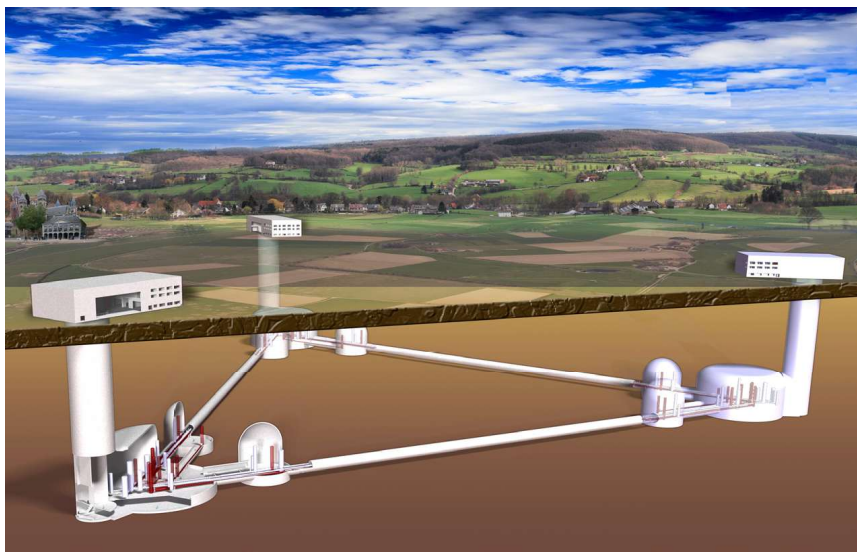
In het ideale geval treedt de Einsteintele-scoop in werking rond de lancering van LISA, nu gepland voor 2035, zodat de observatoria elkaar kunnen aanvullen. Is dat nog haalbaar?

“LISA wordt ontworpen om vier jaar te meten, met een mogelijke extensie van zes jaar. Het is daardoor goed mogelijk dat de Einsteintele-scoop en LISA tegelijk kunnen meten, wat wetenschappelijk gezien erg interessant is. Maar in 2035 zal de Einsteintele-scoop waarschijnlijk nog niet volledig werken. Allereerst moet er een bidbook komen (een strategisch document, bedoeld om een project binnen te halen, red.). Als het goed is hebben we dat voor onze site voor eind volgend jaar ingeleverd. In 2027 zou dan helder moeten worden waar de Einsteintele-scoop komt. Daarna ben je toch wel zo’n acht jaar bezig met de constructie zelf, dus dan zit je in 2035. Dan begin je met de commis-sioning (alle controles die nodig zijn voordat de faciliteit daadwerkelijk in gebruik kan worden genomen, red.), wat ook één à twee jaar zal duren. En dan kun je beginnen met alleen de hoogfrequente detectoren.”

In het huidige plan krijgt de Einsteintele-scoop in elk hoekpunt namelijk twee detectoren: een hoog- en een laagfrequente. De hoogfre-quente detectoren richten zich op zwaarte-krachtgolven met frequenties van 30 hertz tot 2 kilohertz. Deze werken bij kamertemperatuur en maken gebruik van lasers met een vermogen van 3 megawatt. De laag-frequente detectoren richten zich op frequenties van 2 tot 30 hertz, wer-ken bij een temperatuur van 10 tot 20 kelvin, en hebben een laservermogen van slechts 18 kilowatt.



LIGO Livingston, een van de twee LIGO-detectoren die in september 2015 de eerste zwaarte-krachtgolf maten (foto: LIGO).



De Einsteintelescoop, een geplande opvolger van LIGO en Virgo, wijkt in het huidige ontwerp af van zijn voorgangers doordat hij niet L-vormig is maar driehoekig. Op elk hoekpunt daarvan komen interferometers die twee zijden van de driehoek als tunnels gebruiken. Voordeel daarvan is dat de Einsteintelescoop met maar drie tunnels kan bepalen waar een signaal vandaan komt; iets waar anders drie L-vormen met in totaal zes tunnels voor nodig zouden zijn. Nadeel is dat het signaal bij een hoek van 60 graden tussen de tunnels zo'n 14 procent minder sterk is dan bij een hoek van 90 graden (illustratie: Marco Kraan/Nikhef).

De detectoren voor zwaartekrachtgolven met lagere frequenties zijn dus voor later?

“Ja, die zijn veel uitdagender om te realiseren. Om te beginnen moeten we die trillingvrij gaan koelen. De beste manier om dat te doen die ik ken, komt van de Universiteit Twente. Die gaan we testen in de ETpathfinder, het prototype van de Einsteintelescoop in Maastricht. Een ander punt is dat we bij de laagfrequente detector gaan werken met lasers met een andere frequentie, van 1550 nanometer. Maar dan moet je ook je spiegels van andere materialen maken, nieuwe coatings bedenken, fotodetectoren ontwikkelen die een hoge efficiëntie hebben bij die frequentie... Dus daar zou ik wel even de tijd voor nemen. Persoonlijk vind ik de laagfrequente detectoren wel het meest baanbrekend: die kunnen signalen meten uit het vroege universum, die door de roodverschuiving bij lagere frequenties zijn beland. Ook beginnen de signalen van een botsing bij lage frequenties. En als je bij een twee keer zo lage frequentie begint met meten, is het signaal van zo'n botsing meer dan zes keer

langer zichtbaar. Dan heb je uren of zelfs dagen de tijd om astronomen te vertellen dat er op een bepaalde plek aan de hemel iets te zien is.”

Terwijl Europa dit soort grote plannen maakt, wordt er in de VS gesproken over het sluiten van een van de twee LIGO-detectoren. Hoe erg zou dat zijn?

“Dat zou absurd zijn. Om een bron te kunnen lokaliseren, heb je minimaal drie detectoren nodig. Als je stopt met één LIGO-detector, heeft dat dus direct implicaties voor de wetenschappelijke kwaliteit van het onderzoek. Op het moment dat je zo'n detector wegbezuinigt, stuur je ook de helft van je staf naar huis, want het personeel vormt de hoofdmoot van de kosten. Die expertise is dan gewoon weg – hoe ga je zoiets dan weer opbouwen als er een volgend kabinet komt?

“Kijk, de Verenigde Staten hebben problemen met hun budget en dan valt er wat voor te zeggen om je af te vragen: welke wetenschap die we nu doen is van lage kwaliteit, welke van hoge kwaliteit? Maar nu gaat het

vooral om America first. Dat zie je ook bij LISA. Dat is een fantastisch programma, voornamelijk van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, dat ongekend mooie wetenschap gaat opleveren. Maar in de VS vraagt men zich dan af: waarom zouden wij de ESA gaan steunen met 400 miljoen?”

De Verenigde Staten hebben ook plannen voor een toekomstige detector die tegelijk met de Einsteintelescoop moet gaan opereren: de Cosmic Explorer. Hoe staat het daarmee?

“Er is net een review geweest waarvoor verschillende scenario's zijn vergeleken. De conclusie is dat er in elk geval één L-vormige detector moet komen met armen van 40 kilometer. Maar in het huidige klimaat heeft die niet meer de hoogste prioriteit. Ook zie je dat de Einsteintelescoop nu al middelen krijgt vanuit Europa. Je zou hopen dat dat in de VS dan ook gebeurt voor hun Cosmic Explorer. Maar als het budget van de National Science Foundation wordt gehalveerd, is het maar de vraag wat daarvan terecht komt.”

Jo van den Brand is emeritus hoogle-raar natuurkunde aan de Universiteit Maastricht, de Vrije Universiteit Amsterdam en Nikhef. Eerder leidde hij onder meer het zwaartekrachtgolvenprogramma van Nikhef (2007-2017), was hij *spokesperson* van de zwaartekrachtgolvendetector Virgo (2017-2020) en projectdirecteur van de Einsteintelescoop (2021-2022) (foto: Martin van Lokven).

