

Zwaartekrachtgolfdetector LISA gaat met Nederlandse technologie de ruimte in

De Europese Ruimtevaartorganisatie ESA heeft groen licht gegeven voor de lancering van de zwaartekrachtgolfdetector LISA: een uiterst complexe ruimtemissie met een flinke Nederlandse inbreng. LISA moet nieuwe kennis op gaan leveren over onder andere zwarte gaten, de oerknal en donkere materie.

Einsteins voorspelling

Zwaartekrachtgolven hebben ons, sinds ze experimenteel toegankelijk werden in 2015, een unieke kijk op het heelal gegeven. Zwaartekrachtgolven zijn kleine rimpelingen in de ruimtetijd en worden veroorzaakt door de zwaartekracht van de beweging of botsing van massieve objecten, zoals zwarte gaten. Hun bestaan was al voorspeld door Einstein in 1915, maar het duurde nog honderd jaar voordat ze voor het eerst gemeten werden. Dat kwam doordat het effect zeer klein is en moeilijk te meten; de ruimtetijd verandert namelijk in de ordegrrootte van een waterstofatoom op een grootte van tien miljoen kilometer. Om deze uiterst gevoelige metingen te kunnen doen zijn zwaartekrachtgolfdetectoren gebouwd die werken door middel van laserinterferometrie. In deze zogenoemde Michelson-interferometrieopstelling wordt laserlicht in twee delen opgesplitst; waarbij één deel een iets grotere afstand aflegt (ook wel armlengte genoemd) en na reflectie weer combineert met het tweede deel. Het resulterende interferentiepatroon wordt gebruikt om veranderingen

in de afstand, en daarmee zwaartekrachtgolven, te meten. Er staan nu twee detectoren met een armlengte van vier kilometer genaamd LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) in de Verenigde Staten en één met een armlengte van drie kilometer, genaamd Virgo, in Italië.

LIGO en Virgo hebben een verscheidenheid aan botsingen tussen zwarte gaten en neutronensterren gemeten en leidden daarmee een nieuw tijdperk in in de wetenschap door nieuwe inzichten te geven in onder meer sterevolutie en zwarte gaten. Maar er valt nog veel meer te ontdekken: LIGO en Virgo meten een frequentie tussen de tien en tienduizend Hertz, maar veel bronnen van zwaartekrachtgolven zenden veel lagere frequenties uit. Helaas zijn aardse detectoren dan te beperkt, omdat een armlengte van miljoenen kilometers nodig is om die te meten.

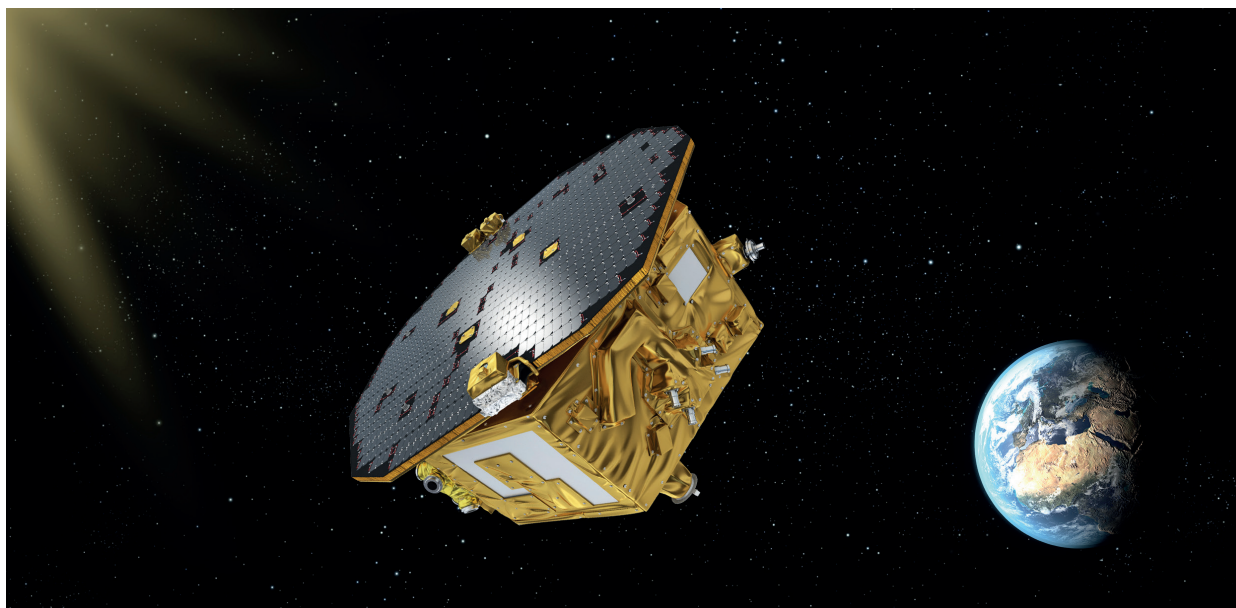
LISA-missie

Groot nieuws kwam op 25 januari jongstleden van de Europese ruimtevaartorganisatie met de aankondiging van de lancering in 2035 van de zwaartekrachtgolfmis-sie LISA (Laser Interferometer Space Antenna). Die werkt ook met behulp van laserinterferometrie, maar dan op een veel grotere schaal. LISA bestaat uit drie ruimtevaartuigen die als een driehoek op vijftig miljoen kilometer van de aarde rond de zon draaien. Hun onderlinge afstand is 2,5 miljoen kilometer wat ze gevoelig

maakt voor laagfrequente zwaartekrachtgolven. De detectoren moeten een meetnauwkeurigheid van één picometer waarborgen en vereisen daarom zeer verfijnde technologie. Zo heeft elke satelliet een vrij zwevende testmassa aan boord. Deze is ongevoelig voor externe factoren zoals de zonnewind en kosmische straling die de positie van de satellieten kunnen beïnvloeden. De testmassa wordt gebruikt als referentiepunt om met behulp van microraketjes de positie met een precisie van tien nanometer zeer nauwkeurig te kunnen corrigeren. Om dit principe te testen lanceerde ESA in 2015 LISA Pathfinder, die twee testmassa's bevatte. Met behulp van deze missie kon vastgesteld worden dat deze aanpak de nauwkeurigheid oplevert die LISA nodig heeft.

Nederlandse trots

LISA zal ook een flinke hoeveelheid Nederlandse technologie aan boord hebben. Een consortium, onder leiding van SRON en verder bestaande uit Nikhef, Radboud Universiteit, Universiteit Leiden, UvA, Universiteit Utrecht, TNO, Universiteit Maastricht en RUG, zullen samen aan belangrijke onderdelen werken. Zo werken SRON en Nikhef aan de fotodiodes. Dankzij de lange afstand is er een extreme verzwakking van het laserlicht en komt er maar 250 picowatt aan bij de fotodiodes, die dus enorm gevoelig en robuust tegen ruis moeten zijn. Deze detectoren meten trouwens niet de intensiteit



van het signaal, maar de amplitude. Aangezien de sterkte van de amplitude lineair afneemt met de afstand (en niet kwadratisch afneemt zoals de intensiteit dat doet) kun je veel verder het heelal in kijken.

De lichtverzwakking vereist ook een ander type interferentie, namelijk *phase-locked*-interferometrie. Hierbij registreert de ontvangende satelliet de fase van het licht en stuurt het licht met dezelfde fase terug. Een verschil in fase tussen twee lichtstralen uit verschillende armen betekent dat een zwaartekrachtgolf is langsgelopen.

TNO en SRON werken aan het richtmechanisme. Dit is nodig om de laser een klein beetje van richting te kunnen veranderen zonder dat de lengte van het pad van de laser beïnvloed wordt. Dit is nodig omdat de hoeken van de driehoek niet precies zestig graden zijn en ook in de loop van de tijd veranderen.

De overige partijen werken aan software, die bijvoorbeeld onderscheid moet maken tussen de grote hoeveelheid aan zwaartekrachtgolfsignalen die uit allerlei richtingen komen en op meerdere frequenties en amplitudes trillen. Daarnaast helpt een gedeelte van de software door middel van data-analyse inte-

ressante bronnen te ontdekken. Ook helpt software om LISA met andere telescopen te kunnen koppelen.

Nieuwe wetenschap

LISA luidt een nieuw tijdperk in de wetenschap in. Het is bijvoorbeeld een uniek medium voor kosmologie. Het jonge heelal had net na de oerknal een zeer hoge dichtheid aan materie en was daarbij niet transparant voor licht, maar wel voor zwaartekrachtgolven. Metingen kunnen bijvoorbeeld waarschijnlijk uitsluitend geven over de inflatietheorie, die de extreme expansie van het heelal beschrijft die binnen 10^{-32} seconden na de oerknal gebeurde.

LISA kan ook zien hoe snel zwarte gaten groeien en hoe ze zich voeden. Of samensmeltende zwarte gaten of compacte sterren waarnemen lang voordat ze botsen. Bovendien kan het signalen op grotere roodverschuiving zien en verder in het verleden van het heelal kijken. Hiermee verwachten we meer te weten te komen over superzware zwarte gaten, zoals die in het centrum van de Melkweg. Wetenschappers verwachten de zaadjes van superzware zwarte gaten te gaan vinden in de eerste honderden miljoenen jaren na de oerknal. Ook kunnen we

inzicht krijgen in dubbelsystemen, die bestaan uit neutronensterren, witte dwergen en stellare zwarte gaten. LISA zal de verdeling van deze soorten binnen onze Melkweg in kaart brengen.

LISA kan daarnaast meer fundamentele natuurkunde testen, om meer inzicht in bijvoorbeeld donkere materie en donkere energie te krijgen. Door zwarte gaten te meten, geeft het extra meetpunten voor het model van de evolutie van het heelal. LISA kan ook de algemene relativiteitstheorie op een ongekende manier toetsen, aangezien zwaartekrachtgolven juist krommingen in de ruimtetijd veroorzaken.

Gijs Nelemans, verbonden met SRON en de Radboud Universiteit, denkt dat LISA een schat aan informatie zal opleveren, omdat verwacht wordt dat er veel 'LISA-bronnen' zijn en dat met de gevoeligheid van LISA ongeveer alle botsende superzware zwarte gaten in het hele heelal worden waargenomen. Wat hij verder bijzonder vindt, is dat er metingen gedaan kunnen worden die aan enorm veel verschillende wetenschappelijke vragen bij kunnen dragen en mogelijk de ontdekking van nieuwe natuurkunde in het allervroegste heelal.