

SATELLIETEN GAAN VOOR HET EERST ZWAARTEKRACHTSGOLVEN METEN

LISA gaat Einstein testen

LISA, een vloot van drie ruimtesondes, gaat in 2018 voor het eerst metingen doen aan zwaartekrachtsgolven. Om dit te kunnen realiseren is echter wel geavanceerde technologie nodig, waarvan een belangrijk deel nog moet worden uitgevonden.

Albert Einstein publiceerde in 1916 een artikel waarin hij het bestaan van zwaartekrachtsgolven voorspelde. Dit vloeide voort uit zijn algemene relativiteitstheorie. Alleen als een massa asymmetrische bewegingen maakt, zoals bijvoorbeeld bij een supernova explosie, wekt hij zwaartekrachtsgolven op. Daarna werd het erg stil rond deze theorie. Pas in 1957 toonde de natuurkundige Herman Bondi door middel van een gedachtenexperiment aan dat het echte fysieke golven zijn die gemeten kunnen worden.

De natuurkundigen Hulsén en Taylor deden baanmetingen aan de pulsar PSR 1913+16 die zij in 1974 ontdekt hadden. Deze neutronenster vormt een nauwe dubbelster met een gewone ster. Uit de manier waarop ze steeds dichter om elkaar heen gaan draaien, konden de onderzoekers als eersten indirect afleiden dat de sterren energie in de vorm van zwaartekrachtsgolven moesten verliezen. Zij ontvingen voor hun baanbrekende werk in 1993 de Nobelprijs. Het principe dat wordt gebruikt om zwaartekrachtsgolven te meten is heel eenvoudig. Twee testmassa's worden op een flinke afstand van elkaar opgesteld. Als er een zwaartekrachtsgolf passeert, zullen de massa's een klein stukje van positie veranderen. Die verplaatsing is met behulp van een laserstraal te meten. Hoe verder de massa's van elkaar af staan en hoe zwaarder ze zijn, des te gevoeliger is de detector. Het is in principe mogelijk om op deze manier zwaartekrachtsgolven op aarde te meten. In vier landen zijn detectoren gebouwd die met interferometrie werken. Met deze methode kan heel nauwkeurig het verschil in de lengte van de afgelegde weg van twee lichtbundels worden gemeten. Dit wordt bepaald met behulp van het interferentiepatroon dat de bundels veroorzaken. De Verenigde Staten hebben het LIGO project met een lengte van drie kilometer, in Duitsland staat de Brits-Duitse GEO 600 (600 m lang), in Italië staat de Frans-Italiaanse Virgo detector (3 km lang) en in hartje Tokio hebben de Japanners de 300 m lange TAMA detector gebouwd. Ook Nederland doet mee met de bolvormige Minigrail detector van de universiteit van Leiden. Deze moet golven met een frequentie rond de drie kilohertz gaan waarnemen. Tot op vandaag heeft geen van deze apparaten ook maar iets kunnen meten. En golven met frequenties lager dan 1 Hz kunnen alleen in de ruimte worden waargenomen.

LISA (Laser Interferometer Space Antenna) is een gecombineerde ESA–NASA missie. Ze bestaat uit drie sondes die een gelijkzijdige driehoek vormen met een zijde van vijf miljoen kilometer. Deze wordt in dezelfde baan rond de zon geplaatst als de aarde, op een afstand van twintig graden (50 miljoen kilometer) van de aarde. De onderzoekers willen de sondes zo ver mogelijk van de storende invloed van de zwaartekracht van de aarde en de maan verwijderd hebben. Maar als de afstand te groot wordt, zijn weer grotere antennes en sterkere zenders nodig, wat de sondes zwaarder en duurder maakt. Er is dus een compromis gesloten tussen deze twee factoren. De missie heeft tot doel om de relativiteitstheorie van Einstein te testen en zal daarnaast een heel nieuw venster op het heelal openen. Astronomen gaan met LISA de vorming van superzware zwarte gaten onderzoeken, de morfologie van de melkweg bestuderen, de kernen van sterrenstelsels waarnemen, en nog veel meer. De belangrijkste bronnen van zwaartekrachtsgolven voor LISA zijn nauwe dubbelsterren in onze melkweg en superzware zwarte gaten (een tot honderd miljoen zonsmassa's) in de kernen van andere sterrenstelsels.

LISA werkt volgens hetzelfde principe als de aardse detectoren. Dit is in de praktijk echter niet zo simpel als het lijkt. Het grote probleem is de extreme gevoeligheid die nodig is om een zwaartekrachtsgolf te detecteren. De verplaatsing van de testmassa is enorm klein. De

massa zal zich bij het passeren van een zwaartekrachtsgolf verplaatsen over een afstand die in de orde van 0,1 nm ligt. Dat vergt extreem nauwkeurige meetapparatuur. Om dit te kunnen realiseren vormen de drie LISA-sondes samen een zogenaamde interferometer. Elke LISA sonde bevat twee testmassa's die een optische combinatie vormen met een laser en een 30 cm telescoop. Het geheel heeft een Y-vorm met een hoek van zestig graden. Één sonde stuurt een infrarode laserstraal naar de andere twee. De stralen worden door de testmassa's gereflecteerd. Hierbij treedt interferometrie op tussen de twee gereflecteerde bundels. Uit het interferentiepatroon kan zeer nauwkeurig het weglengteverschil van de twee worden afgeleid. Het uitgezonden vermogen bedraagt 1 W maar het ontvangen vermogen is slechts 100 picowatt. Dat is ongeveer een foton per dag! Omdat dit signaal zo zwak is, vuurt de ontvangende sonde een laserstraal terug naar de zender die in fase is met het ontvangen signaal. In de ontvanger worden deze twee signalen weer van elkaar afgetrokken. Dit wordt een heterodyne ontvanger genoemd. Doordat de driehoek die de drie sondes vormen in de ruimte roteert, is de afstand tussen de sondes ongelijk en varieert ook nog eens. Dat maakt de meting nog lastiger. Door de laserstralen in een kring rond te sturen kan de instrumentruis gemeten worden. Dat is de reden waarom er drie sondes zijn, waar twee eigenlijk voldoende zijn voor een meting.

Een van de vele problemen die moeten worden opgelost is dat de sonde waarin de testmassa vrij rondzweeft, door de stralingsdruk van het zonlicht van zijn plaats verandert ten opzichte van de testmassa wordt geduwd. Dit is een zeer klein, maar niet te verwaarlozen effect dat gecompenseerd moet worden. Eerst moet de verplaatsing van de sonde ten opzichte van de testmassa als gevolg hiervan gemeten worden. Deze is daartoe tussen twee elektroden geplaatst die zich op vier millimeter afstand van de rand van de testmassa bevinden. De testmassa is een metalen kubus van 42 mm die twee kilo weegt. Hij bestaat uit een legering van 75 procent goud en 25 procent platina. De massa vormt met elke elektrode een condensator. Verplaatst de massa zich, dan verandert de capaciteit van de condensatoren wat elektrisch gemeten kan worden. Ook hier betreft het weer extreem kleine verschillen die moeilijk te meten zijn. Om de positie van een sonde te kunnen corrigeren is deze uitgerust met twaalf kleine raketmotoren. Deze duwen het ruimtescheepje terug naar zijn oorspronkelijke positie. Hier doemt het volgende probleem op. De benodigde stuwdruk is heel erg klein. Een conventionele chemische raketmotor komt dus al meteen niet in aanmerking hiervoor. Een ionenmotor is een beter systeem. Maar de bestaande ionenmotoren zijn nog veel te groot voor dit doel. De druk die het zonlicht uitoefent ligt in de orde van 30 micronewton. De ESA heeft met de SMART-1 missie naar de maan al ervaring opgedaan met een ionenmotor in de ruimte. Alleen is de motor van de SMART-1 veel te groot. "De motor van de SMART-1 zou een derde van de ruimte van een LISA sonde innemen", legt Oliver Jenrich, LISA project scientist uit. "En bovendien is die motor niet regelbaar, wat een vereiste is".

Voor LISA wordt een zogenaamde field-emission ionenmotor ontwikkeld. "We willen een motor met een proportioneel regelbare stuwdruk van nul tot honderd micronewton", aldus Jenrich. Zo'n micronewton motor werkt op vloeibaar Cesium of Indium. Het voordeel van Cesium is dat het een lager smeltpunt heeft maar het nadeel is weer dat het in contact met waterdamp spontaan in brand vliegt, wat het testen op aarde lastig maakt. De 'brandstof' wordt onder invloed van een elektrisch veld geïoniseerd. De ionen worden in een elektrisch veld versneld en verlaten via de uitlaat de motor. Door elektronen in de bundel te schieten wordt het zaakje elektrisch neutraal gehouden. De drie LISA sondes vormen een driehoek in de ruimte die roteert. Hierdoor verandert de positie van de testmassa. Ook dit effect moet gecorrigeerd worden.

En alsof dat nog niet alles is, komt er ook bij de lancering nog een probleem om de hoek kijken. In de ruimte moet de testmassa zweven. Maar tijdens de lancering moet het blok metaal vastgehouden worden omdat het anders door de sterke trillingen rond gaat slingeren en de apparatuur zou vernielen. Een probleem dat eenvoudig lijkt op te lossen door het ding tijdelijk vast te klemmen. "Het lastige daarbij is om de testmassa weer los te laten", legt Jenrich uit. "De gebruikte legering is erg zacht, waardoor de metalen pennen die gebruikt worden om het op zijn plaats te houden, er aan blijven kleven". Hij slaat demonstratief met zijn hand in de lucht alsof hij in een pot stroop heeft gegrepen. "We denken op dit moment dit probleem op te lossen met behulp van drie pennen rond elke klem die de testmassa weer los moeten duwen". Om dat de missie technologisch zo complex is, wordt er eerst een tussenstap genomen. In 2009 zal de LISA pathfinder gelanceerd worden die de belangrijkste benodigde technieken gaat uitproberen. Dat zijn de micronewton raketjes, de meting van de positie van de kubus en de software voor de

besturing van de sonde. De drie LISA sondes worden tegelijk met een raket gelanceerd. De lancering is gepland voor 2018. Daarna duurt het nog ruim een jaar voor het trio op zijn plaats in het zonnestelsel is aangekomen en de metingen kunnen beginnen. Dan zal blijken of Einstein het bij het rechte eind had.

Kengetallen (per sonde)

massa	460 kg
diameter	1,8 m
hoogte	0,48 m
missieduur	5 jaar

internetsites

<http://lisa.nasa.gov>

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=27>