

# De onmetelijke lichtheid van de zwaartekracht

Koperen bol biedt wellicht zicht op de oerknal

**Op een paar plaatsen in de wereld wordt deze dagen begonnen met de detectie van zwaartekrachtgolven. Als het lukt, is daarmee een heel nieuw venster op het heelal geopend. Voor nieuwe vergezichten en inzichten.**

DOOR **CHRIS SPRANGERS** FOTOGRAFIE **ROGER CREMERS**

Hij staat er een beetje nonchalant bij, de MiniGrail: een goudkleurige bol van net geen zeventig centimeter doorsnee, opgesteld op een tafeltje, temidden van wat er in de ogen van de toevallige bezoeker uitziet als een onbeschrijflijke chaos. Aan een werktafel naast de bol, waarop goudkleurige cd's – zo zien ze eruit – om ruimte wedijveren met een soldeerbout, metalen busjes, draden, een oscilloscoop en andere niet nader te determineren hardware, poetst een jonge vrouw aan een metalen plaat: Arlette de Waard promoveerde op het MiniGrail-project en werkt er al negen jaar aan, onder leiding van hoogleraar Giorgio Frossati. Dat project behelst de bouw van een apparaat dat, naar men hoopt, vanaf begin volgend jaar zwaartekrachtgolven zal proberen te detecteren, golven waarvan het bestaan door Einsteins algemene relativiteitstheorie is voorspeld, maar die tot nu toe nooit direct zijn waargenomen. Omdat dat altijd technisch te moeilijk was.

Die theorie van Einstein zegt dat zwaartekracht niet, zoals Newton wilde, een statisch veld is dat overal tegelijk aanwezig is, maar een dynamisch veld en dat veranderingen in dat veld zich keurig met de lichtsnelheid door het heelal bewegen. De theorie wil voorts dat de ruimte vervormt onder invloed van grote massa's. 'Als grote massa's ten opzichte van elkaar bewegen, krijg je op die plek een veranderend zwaartekrachtveld. Die veranderingen breiden zich in de ruimte uit en de rimpels die daarbij als het ware ontstaan, is wat we waarnemen – of hopen

waar te nemen', zegt Jan-Willem van Holten, verbonden aan het Nederlands Instituut voor Kernfysica en Hoge Energie Fysica (Nikhef) en hoogleraar theoretische fysica aan de Vrije Universiteit.

#### Piepklein effectje

Tot zover lijkt de detectie van zwaartekrachtgolven niet tot al te veel technische problemen te kunnen leiden. Want hoe golven werken, dat weten we zo langzaamaan wel. De moeilijkheid doet zich evenwel voor, aldus Van Holten, 'dat de ruimte extreem stijf is. Er is verschrikkelijk veel energie nodig om de ruimte ook maar enigszins te vervormen, in beweging te krijgen.' Ongeveer zoals je in een vijver met dikke stroop een veel grotere steen moet gooien dan in een vijver met water om dezelfde golfslag teweeg te brengen. 'Om ook maar de kleinste verandering in de ruimte teweeg te brengen, heb je energiestro-

men nodig van megawatts per vierkante meter. Zo'n energie zou je als mens bij licht of gammastraling niet overleven, maar bij zwaartekracht is het effect daarvan zo klein, dat het vrijwel ongemerkt voorbij gaat.

'Wat – voor ons die het effect willen meten althans – ook nog eens heel lastig is, is dat tegelijkertijd die energie er ook weer heel moeilijk uit te halen is. Er is vreselijk veel voor nodig om die energie uit de vervorming van de ruimte weer terug te stoppen in een mechanisch apparaat, een meetapparaat bijvoorbeeld. Dat tapt maar een heel klein beetje van die energie af.

'Uiteindelijk is de zwaartekracht – ook al strekt hij zich over zeer grote afstanden uit – dus maar een heel zwakke kracht. Ga maar na: de zwaartekracht van de hele aarde zorgt ervoor dat dit lepelkje op tafel blijft liggen. Maar de elektromagnetische kracht van één klein magneetje is al genoeg om die zwaartekracht te overwinnen en het lepelkje van tafel te tillen.'

#### Extreem gevoelig

Wil je er in slagen zwaartekrachtgolven waar te nemen, dan heb je derhalve twee dingen nodig: allereerst een catastrofale gebeurtenis in de ruimte die zware golven genereert. En bij voorkeur dan ook nog bij ons – astronomisch gezien – in de buurt, omdat die golven, zoals alle golven, afzwakken met de afstand tot de bron. Dergelijke bronnen zijn zwarte gaten die elkaar of een ster opslokken, of supernovae,

'De ruimte is extreem stijf. Er is verschrikkelijk veel energie nodig om de ruimte ook maar enigszins in beweging te krijgen'



## Gravitatielenseffect

Dat grote massa's de ruimte inderdaad vervormen, heeft men kunnen vaststellen op grond van het zogenaamde gravitatielenseffect, zoals dat bij zonsverduisteringen wordt waargenomen. Het licht van sterren die eigenlijk onzichtbaar zouden moeten zijn doordat ze achter de zon staan en dat derhalve bij een volledige zonsverduistering door de maanschijf (en de daarachter liggende zon) aan het zicht onttrokken zou moeten zijn, werd toch waargenomen: de massa van de zon boog het van die sterren afkomstige licht om, waardoor het toch de aarde kon bereiken. En als het licht een kromme baan aflegt, betekent dat in feite dat de ruimte gekromd is. En dat die kromming aan de zware massa van het tussenliggende hemellichaam is te danken.

→ ook: alle atomen waaruit de bol bestaat, bewegen immers ook als gekken. Om die beweging te minimaliseren, wordt de bol opgehangen in een vat dat tot 40 mK (zijnde vlak boven het absolute nulpunt) is gekoeld; stiller krijg je atomen niet. Daarnaast schrijft promovendus Sasha Usenko al drie jaar lang software om ook langs die weg signaal en ruis uit elkaar te halen.

Al jaren werkt hoogleraar Frossati met zijn team aan de verfijning van het meetinstrument. De verwachting is nu dat de MiniGrail rond de jaarwisseling in gebruik kan worden genomen. Er zal nauw worden samengewerkt met een team in São Paolo, waar men eenzelfde 'MiniGra' (maar dan wellicht een Mini-GrailSP) aan het bouwen is. Gelijktijdige detectie door de twee bollen zou de signaal-ruisverhouding van het systeem zeer ten goede komen.

### Laserstraal

Maar het kan ook heel anders. Op een paar plaatsen in de wereld – in Pisa, Hannover en op twee plaatsen in de VS – probeert men zwaartekrachtgolven te meten met laserinterferometers. Die in het Duitse Hannover wordt momenteel geijkt; men hoopt in de loop van volgende maand aan de echte metingen te kunnen beginnen. Datzelfde geldt voor het systeem in Pisa, onder de naam Virgo, waar ook het Nikhef aan meewerkt, en dat deze maand al moet gaan meten.

Een laserinterferometer bestaat in principe uit twee buizen die haaks op elkaar staan. Een laserstraal wordt door een halftransparante spiegel (een 'beam splitter') die de straal in tweeën splitst, door de bui-

zen gestuurd en via een spiegel weer teruggekaatst. De stralen leggen in beide armen precies dezelfde afstand af en komen op hetzelfde moment aan bij een fotodetector, die door die gelijktijdigheid niet zal oplichten: de golven zijn 'in fase'. Wordt nu de ene arm ineens iets langer dan de andere – door een langskomende zwaartekrachtgolf – dan raken de golven uit fase: de golven gaan interfereren, waardoor aan het uiteinde de fotodetector oplicht – sterker naarmate de afzonderlijke pieken verder uit elkaar liggen. Dergelijke verschillen zijn zeer nauwkeurig te meten.

De armen van de detector in Pisa zijn drie kilometer lang; maar door de laserstralen een aantal keren tussen spiegels heen en weer te laten kaatsen, wordt een effectieve lengte van 120 kilometer bereikt. Het spreekt vanzelf dat ook hier weer heel veel gedempt wordt: de buizen zijn hoog-vacuüm gemaakt,

de spiegels extreem zorgvuldig geijkt, omdat zelfs de laserstraal zelf de spiegels al iets van hun plaats neigt te duwen, net zoals iedere achtergebleven luchtmolecuul.

### Nieuw venster

Maar ook al heeft de detector in Pisa een bandbreedte van 10 tot 6000 Hz, ideaal is hij nog steeds niet. 'Je kunt op aarde nu eenmaal niet onder de tien Herz meten', zegt Van Holten. 'Doordat de laagfrequente seismische trillingen in de aarde zelf je waarneming te veel verstoren. Hier in Amsterdam zou je zelfs al last hebben van de Noordzeegolven die op het strand stukslaan. Vandaar dat er al heel lang een

'Je kunt op aarde nu eenmaal niet onder de tien Herz meten. Hier in Amsterdam zou je zelfs al last hebben van de Noordzeegolven die op het strand stukslaan'

plan bestaat een interferometer in de ruimte te brengen: drie satellieten, elk zo'n vijf miljoen kilometer van de andere twee verwijderd, die als het ware achter de aarde aanvliegen. Voordeel is dat je dan van die laagfrequente trillingen van de aarde geen last meer hebt. Aan het project wordt momenteel gewerkt onder auspiciën van Esa en Nasa.

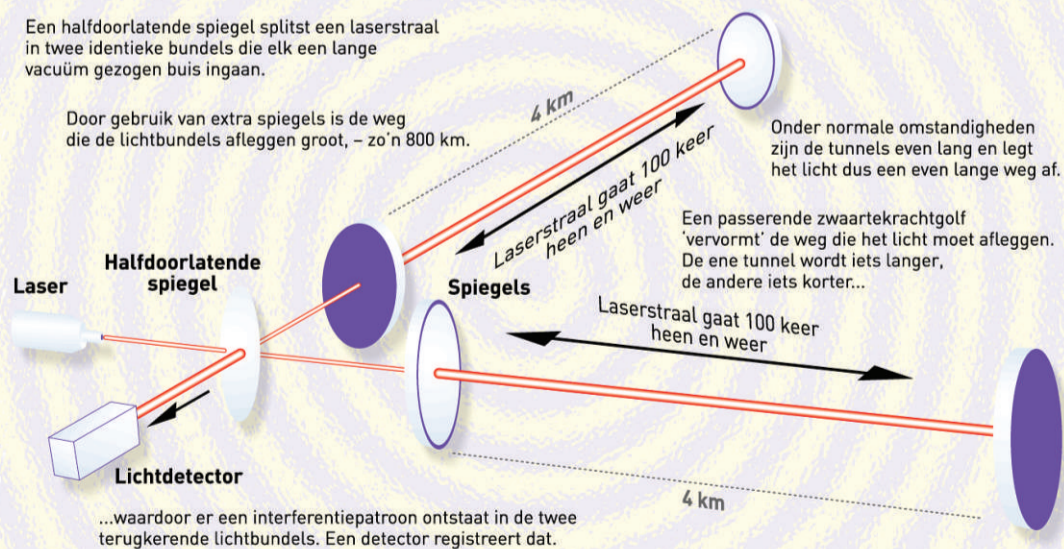
En als die golven dan eindelijk gevonden zijn, worden we daar dan wijzer van? De verwachting is: zeer. 'Niet alleen zal de algemene relativiteitstheorie zijn ultieme test hebben gehad', zegt Van Holten. 'Er zal ook een heel nieuw waarnemingsvenster op het heelal mee zijn geopend. Samen met de andere waarnemingsvensters – met name de elektromagnetische – kan dat tot heel nieuwe inzichten in het heelal leiden. De eerste 380 duizend jaar na de oerknal bijvoorbeeld was het heelal nog zo dicht, dat het ondoordringbaar was voor elektromagnetische straling. Van vóór die tijd kunnen we dus niets zien. Maar misschien was het heelal al wel transparant voor zwaartekracht, zodat waarneming via dat kanaal misschien weer een nieuw en helderder licht kan werpen op de oerknal.'

Het zal zijn of de mens er een heel nieuw zintuig bij heeft gekregen. En ongetwijfeld zullen al deze nieuwe waarnemingen weer meer nieuwe vragen oproepen dan ze oude beantwoorden.

## Interferometer kan zwaartekrachtgolf detecteren

Een halfdoorlatende spiegel splitst een laserstraal in twee identieke bundels die elk een lange vacuüm gezogen buis ingaan.

Door gebruik van extra spiegels is de weg die de lichtbundels afleggen groot, – zo'n 800 km.



...waardoor er een interferentiepatroon ontstaat in de twee terugkerende lichtbundels. Een detector registreert dat.

De hoeveelheid interferentie is een maat voor de kracht van de passerende zwaartekrachtgolf.

Bron: American Museum of Natural History

chris.sprangers@intermediair.nl



De Leidse MiniGrail: 's werelds eerste bolvormige antenne voor het detecteren van zwaartekrachtgolven

waarbij een ster onder zijn eigen gewicht ineenstort en in het hart een neutronenster of zwart gat vormt. Die ineenstortingen of samenvloeiingen moeten dan ook nog asymmetrisch gebeuren, want als zo'n proces als een voetbal keurig vanaf alle randen gelijkmatig naar het midden ineenstort – 'bolsymmetrisch' zoals dat heet – zal dat weinig rimpeling veroorzaken. 'Wat je nodig hebt, is een zogeheten "quadrupole-moment"', zegt Van Holten. 'Dat betekent dat de betreffende bol een beweging moet uitvoeren die hem eerst in de ene richting – zeg maar de oost-west richting – doet inkrimpen en in de andere – de noord-zuid – doet uitzetten, en daarna omgekeerd, enzovoort. Het soort trillingen dat je dan krijgt, is verantwoordelijkheid voor de zwaartekrachtgolf. Die trilling bepaalt tevens de frequentie van de golf.'

Het tweede ding dat je nodig hebt, is extreem gevoelige waarnemingsapparatuur. 'De diameter van een atoomkern is  $10^{-15}$  meter', zegt Van Holten. 'Dat is het miljoenste van het miljardste deel van een meter. De effecten die wij proberen te meten, zijn nog een miljoen maal zwakker. Je wilt eigenlijk veranderingen zien ter grootte van een miljoenste deel van een atoomkern.' Waarmee de benodigde gevoeligheid van de meetapparatuur afdoende beschreven lijkt.

Het waarnemen van zwaartekrachtgolven moge dan een schier onuitvoerbaar taak lijken, er lopen op een paar plaatsen op de wereld momenteel diverse projecten die deze taak op korte termijn ten uitvoer wil-

len gaan leggen. En sterker nog: ze pakken de zaak op twee zeer uiteenlopende manieren aan.

#### Hinderlijke Noordzeegolven

Waarmee we terug zijn bij de MiniGrail ('Grail' voor: *Gravitational Radiation Antenna In Leiden*), die een van de twee waarnemingstechnieken vertegenwoordigt en die gebaseerd is op het idee dat een bolvormig object onder invloed van een zwaartekrachtgolf – of enige andere golf – zal gaan resoneren als de frequentie van die golf in de buurt komt van de resonantiefrequentie van de bol. De 'resonantiefrequentie' van een lichaam is de frequentie waarbij het lichaam van zichzelf zal gaan meetrillen als een golf van die frequentie hem raakt. Zo zal een kerkklok, als je hem aanslaat, op alle frequenties even gaan trillen, maar zijn resonantiefrequentie is de toon die je hoort galmen en die ook veel langer aanhoudt.

De MiniGrail heeft een massa van 1300 kilo, is ge-

maakt van koper met zes procent aluminium, heeft een bandbreedte van 230 Hz en een resonantiefrequentie van 3 kHz. Treft een trilling van die frequentie de bol, dan zal hij derhalve gaan meetrillen. Bronnen die zwaartekrachtgolven van die frequentie zouden kunnen afgeven, zijn volgens astronomen samensmeltingen van kleinere zwarte gaten, of instabiliteiten in neutronensterren, die kunnen worden veroorzaakt als zo'n neutronenster vergezeld gaat van een heel grote gewone ster.

Je zou het als je in het Kamerlingh Onnes Laboratorium rondloopt niet zeggen, maar veel van de grofstoffelijke en letterlijk gewichtig uitzijnde installaties die hier staan opgesteld, dienen om ruis voor de bol zoveel mogelijk af te dempen. Dat begint met de seismische ruis, de bewegingen in de aarde zelf. Die wordt onderdrukt door de bol op te hangen onder zeven 'dampingstrappen', zware gewichten aan een veer, die een opgehangen aan de ander, die bewegingen in de aarde nihileren. Maar de bol zelf beweegt →