

"Een nieuw tijdperk voor de astronomie"

Gisteren werd bekendgemaakt dat de onderzoekers van het samenwerkingsverband LIGO/Virgo, samen met hun sterrenkundige collega's, voor het eerst zwaartekrachtgolven van een samensmeltend paar neutronensterren hebben gemeten én gezien. Groot wetenschappelijk nieuws, met een belangrijke bijdrage van Nederlandse universiteiten. De Vlaamse masterstudent Michiel Rollier doet aan de UvA onderzoek naar zwaartekrachtgolven, en maakte de recente ontwikkelingen dus van nabij mee. Hij beschrijft zijn ervaringen, en interviewt namens de QU-site onderzoeker Chris Van Den Broeck over de nieuwe ontdekkingen.



Afbeelding 1. Chris Van Den Broeck. Afbeelding: [homepage Chris Van Den Broek](#) op de Nikhef-website.

De vertederende combinatie van gezonde spanning en zichtbare trots valt op ieders gezicht te lezen wanneer ik vrijdag langs de kantoren loop van de Amsterdamse drijvende kracht

achter de studie van de zwaartekrachtsgolven. Het is bijna maandag: tijd om de wereld op de hoogte te brengen van de spectaculaire ontdekking die het team al twee maanden lang zelfs voor hun naaste familie geheim moet houden - en dat voel je. Een waar genoegen is het dan ook om een half uurtje kostbare tijd te stelen van professor Chris Van Den Broeck, mijn scriptiebegeleider, een paar dagen voordat de nieuwe doorbraak wereldkundig gemaakt wordt.

Chris is docent Gravitational Waves en medewerker van de Rijksuniversiteit Groningen en van het Nationaal Instituut voor Subatomaire Fysica (Nikhef) te Amsterdam. In die laatste hoedanigheid maakt de sympathieke Vlaming deel uit van een wereldwijd team van data-analisten - statistici die de informatie van het meest precieze experiment in de geschiedenis van de mensheid vertalen van reeksen getallen naar het wetenschappelijk jargon van massa's, snelheden en afstanden. Het experiment, bestaand uit monumentale instrumenten in de Verenigde Staten (LIGO Hanford en LIGO Livingston) en Italië (Virgo), vangt piepkleine vibraties in de ruimtetijd op. Deze zogenaamde *zwaartekrachtsgolven* bewegen zich voort met de snelheid van het licht en getuigen van de meest energetische processen in het universum, zoals samensmeltende zwarte gaten, supernovae en de inflatie van de vroege kosmos. Het is een van de meest fascinerende en veelbelovende wetenschappelijke domeinen van de 21ste eeuw, en de detectie op 17 augustus van twee botsende neutronensterren bekrachtigt deze reputatie volmondig.



Afbelding 2. Het samensmelten van twee neutronensterren. Links: de vervorming van de ruimtetijd. Rechts: een visualisatie van de zichtbare materie. Afbeelding: Karan Jani/Georgia Tech.

QU - "Chris, maandag zijn alle ogen en oren van de wereldwijde natuurkundige gemeenschap weer op de woordvoerders van LIGO en Virgo gericht. Kan je kort nog eens toelichten wat het nu precies is dat je team heeft ontrafeld?"

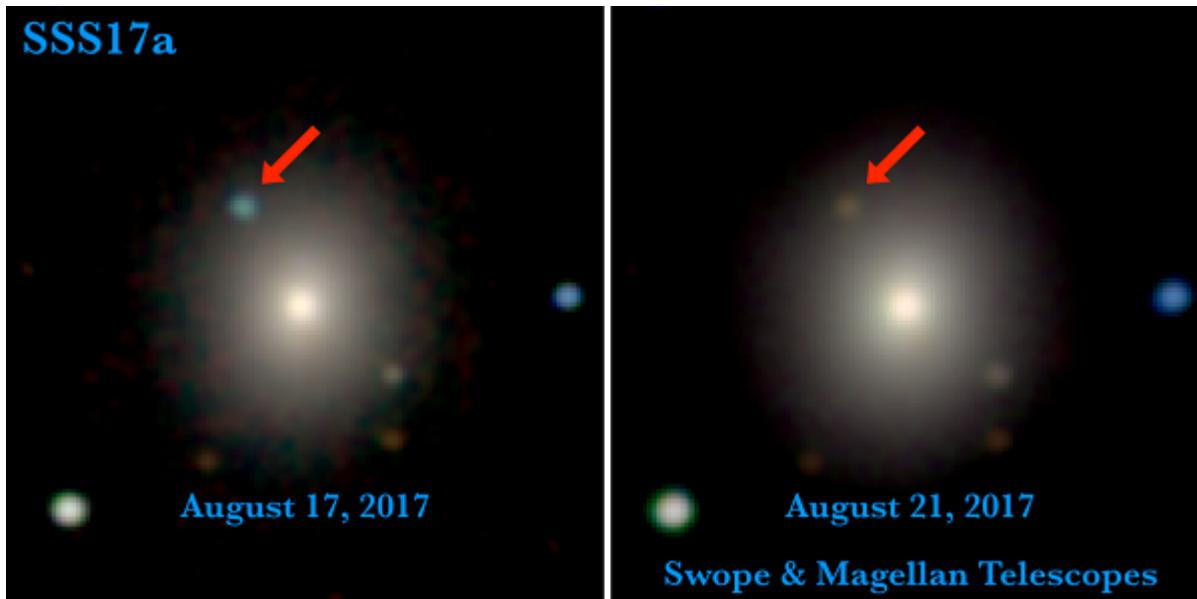
Chris - "Wel, voor het eerst hebben we een botsing gezien, niet van twee zwarte gaten, maar van twee neutronensterren. Dat is iets wat al lang verwacht werd, maar nu is het er plots. De eerste ontdekking (september 2015), en alle andere ontdekkingen tot 17 augustus, waren van zwarte gaten van stellaire massa. Die zijn ook erg interessant, aangezien het erg zuivere botsingen zijn van pure gekromde ruimtetijd, terwijl de nieuwste ontdekking een 'rommeliger' proces was, waarbij de analyse lastiger is maar ook meer informatie omvat. Daarnaast heeft de Fermi-satelliet 1,7 seconden na de LIGO/Virgo-detectie een gammaflits waargenomen, en het zou wel heel toevallig zijn als die twee waarnemingen niets met elkaar te maken gehad zouden hebben. Dat vermoeden werd bevestigd toen later onze oproep aan astronomen om naar die bepaalde regio aan de hemel te kijken, positief beantwoord werd. Zij zagen ook (in die volgorde) röntgenstraling, ultraviolet, optisch en infrarood licht uit enkele

tientallen vierkante graden aan de hemel waar volgens ons de bron gesitueerd was. Aangezien dit precies het fenomeen is dat je zou verwachten bij botsende neutronensterren, was dit voldoende bewijs om met grote zekerheid te zeggen dat het signaal dat we hadden opgevangen wel degelijk echt was. Dit luidt een nieuw tijdperk in voor de astronomie, en kan de natuurkunde erg veel kennis bijbrengen."

Dit luidt een nieuw tijdperk in voor de astronomie, en kan de natuurkunde erg veel kennis bijbrengen.

QU - "Dat we ons moeten verheugen over de nieuwe ontdekking, is ondertussen voldoende duidelijk gemaakt, maar wat is nu precies de reden ervoor? Wat zijn de doorslaggevende argumenten die de vondst van de binaire neutronenster haar triomfantelijke status verleent binnen de astronomie?"

Chris - "Een heel aantal zaken! Ten eerste opent de zogenaamde elektromagnetische tegenhanger (het gedetecteerde lichtsignaal) een nieuw astronomisch hoofdstuk: de 'multimessenger astronomy', waarbij men dezelfde bron waarneemt in zwaartekrachtsgolven én in het elektromagnetisch spectrum. Door een intense samenwerking tussen astronomen en zwaartekrachtwetenschappers zullen we veel beter in staat zijn de kosmos in kaart te brengen. Deze samenwerking heeft alvast de vuurdoop doorstaan, en we verwachten in de toekomst ook een derde aspect van hoogenergetische processen gelijktijdig waar te nemen: neutrino's. Ten tweede hebben we nu eindelijk experimentele bevestiging van het paradigma dat gammaflitsen afkomstig zijn van botsende neutronensterren. Ten derde hebben astronomen uit de spectra kunnen afleiden dat bij de botsing erg veel zware chemische elementen zijn ontstaan. Er werd al vermoed dat bijvoorbeeld bijna al het goud in het heelal zijn oorsprong vindt in dergelijke gebeurtenissen, en ook die hypothese is nu beaamd. Ten vierde - het is echt een reeks van 'firsts'! - valt rechtstreeks uit het zwaartekrachtssignaal de afstand tot de bron te bepalen, iets wat met elektromagnetische straling niet kan en wat een klassiek probleem is in de astronomie. Bijvoorbeeld dubbele neutronenbotsers kan je dus gebruiken als kilometerpaal in de diepe kosmos, waardoor we onder meer de uitdijing van het heelal beter kunnen bestuderen."



Afbeelding 3. De eerste optische beelden van de botsing. Beelden van de Swope en Magellan-telescoop. Links een foto vlak na de uitbarsting; rechts vier dagen later. Het is duidelijk te zien dat de lichtbron is afgezwakt en roder geworden. Foto's: 1M2H/UC Santa Cruz and Carnegie Observatories/Ryan Foley.

QU - "Dat is inderdaad een hele reeks; zonder twijfel een grote sprong voorwaarts voor de astronomie. Niet enkel sterrenkundigen, maar ook theoretici lijken opgewonden over de detectie. Wat kunnen ontdekkingen van dit kaliber betekenen voor onderzoekers aan de frontlinie van de theoretische natuurkunde?"

Chris - "Om het lijstje verder aan te vullen: nog twee consequenties die vooral van belang zijn voor theoretisch fysici zijn de volgende. Ten eerste bestaan er excentrieke theoretische modellen waarbij de snelheid van zwaartekrachtsgolven trager is dan die van het licht. Door de aankomsttijd van de zwaartekrachtsgolven te vergelijken met die van de elektromagnetische tegenhanger, hebben we nu echter gezien dat de twee snelheden niet merkbaar verschillen. Dit bevestigt nogmaals de voorspellingen van de algemene relativiteitstheorie. Ten tweede kunnen we uit de data veel eigenschappen van de opbouw van neutronensterren afleiden. De 'toestandsvergelijking' van die compacte objecten is immers nog steeds een groot mysterie waarbij de theoretische modellen qua voorspelling een grootteorde uiteen liggen. Die fysische samenstelling zou men in principe kunnen afleiden uit het gedetecteerde licht, en uit de manier waarop de sterren vervormen onder invloed van externe krachten. Dat laatste komt goed uit, want wanneer de neutronensterren dicht bij elkaar in de buurt komen, vooral in de laatste seconden voor impact, vervormen ze

elkaar aan de hand van zogenaamde getijdekrachten. Dit type krachten, dat in het geval van de aarde en de maan verantwoordelijk is voor eb en vloed, deformeert de neutronensterren, en hun vervorming beïnvloedt op haar beurt de kromming in de ruimtetijd. Deze kromming stuurt de samenvallende neutronensterren in een welbepaalde baan, een baan die analisten kunnen afleiden uit het zwaartekrachtsgolfsignaal dat ermee gepaard gaat. Natuurlijk is er behoefte aan een tiental meer experimentele datasets om een precieze uitspraak te doen, maar dit is een erg hoopgevende eerste stap om de toestandsvergelijking van de neutronensterren bloot te leggen."

QU - "Een vraag die ongetwijfeld veel politici en geldschieters bezighoudt, is waarom het van belang is niet één, niet twee, maar drie peperdure experimentele faciliteiten te bouwen om waarnemingen te doen. Waarom speelt Virgo in Italië, in essentie hetzelfde instrument als de twee interferometers van LIGO, zo'n cruciale rol?"

Chris - "Drie redenen. Ten eerste wil je zeker zijn dat het 'signaal' dat je oppikt geen fout in de apparaten zelf is, en de kans dat zo'n fout optreedt op dezelfde manier in drie experimenten duizenden kilometers van elkaar verwijderd, is vrijwel onbestaand. Verder staat een drievoudige detectie ons toe tot op vrij grote precisie te bepalen waar aan de hemel het signaal precies vandaan komt. Het is op die manier dat we aan onze astronomische collega's duidelijk kunnen maken waar ze op zoek moeten gaan naar de vermeende elektromagnetische tegenhanger - dit is de regio van enkele tientallen vierkante graden waar ik net over sprak. Die tegenhangers zouden ze anders nooit zomaar zien. Ten derde zijn we erg geïnteresseerd in de polarisatie van zwaartekrachtsgolven: hun geometrische oriëntatie in de ruimtetijd. Die konden we al meteen meten bij het binaire zwarte gat van 14 augustus (dat 27 september aangekondigd werd - QU), en hebben we bij de neutronensterren opnieuw kunnen bestuderen. De input van Virgo is inderdaad beslist cruciaal."

QU - "Dat mag duidelijk zijn. Nu een vraag die meer in jouw domein, de data-analyse, ligt. Vrijwel elke hoge-energiewetenschap maakt gebruik van software om simulaties te maken en data te verwerken. Hoe essentieel is de functie van de computer in dit vakgebied?"

Chris - "Onmisbaar, onmisbaar. Of het nu zwarte gaten of neutronensterren zijn, hun bewegingen worden gekarakteriseerd door minstens vijftien getallen. Daartoe behoren twee

coördinaten aan de hemel, de oriëntatie van het baanvlak (weer twee getallen), de massa's van de objecten, enzovoort. Bovendien voeg je, als je de algemene relativiteitstheorie wil testen, met opzet extra parameters toe om te kijken of deze al dan niet nul zijn. Als ze niet nul zijn, zou Einsteins theorie geschonden zijn, wat natuurlijk ook wereldnieuws zou zijn, maar nog niet gebeurd is. Wanneer je op basis van een enorm ingewikkelde golffunctie (het signaal van de detectoren, niet te verwarren met wat in de quantummechanica een 'golffunctie' wordt genoemd - QU) zo veel getallen gelijktijdig wil bepalen, dan heb je supercomputers nodig. Met pen en papier kom je er dan niet (lacht)."

QU - "In de presentatie van de resultaten staat met reden de wetenschap centraal, maar deze wetenschap wordt natuurlijk door mensen uitgevoerd. Daarom is een blik op het menselijk aspect in dit project niet ongepast. Onlangs werd de grootste vorm van erkenning in de wetenschap, de Nobelprijs, toegekend aan drie pioniers van LIGO. Wat doet het met een mens om je levenswerk in de bloemetjes gezet te zien?"

Chris - "Dat is fantastisch natuurlijk. Wat doet het met een mens? Voor mij waren de ontdekkingen zelf belangrijker. Toen de eerste ontdekkingen kwamen, zat ik tien jaar in het vakgebied. Ik heb dus tien jaar lang methodes ontwikkeld om de data te analyseren, die we gedurende al die tijd moesten testen met simulaties - daar heb je de computer weer! Het klinkt een beetje sneu om een decennium lang simulaties te testen, maar toen kwam het echte ding. En dan krijg je kippenvel. Dan ben je in de wolken. Die euforie van de eerste dag voelde ik weer bij de detectie van de binaire neutronenster, omdat we zo veel geluk hebben zo'n volledig, rijk signaal opgepikt te hebben, mét gammaflits, mét optisch licht ...

QU - "De jackpot gewonnen?"

Chris - "De jackpot gewonnen!"

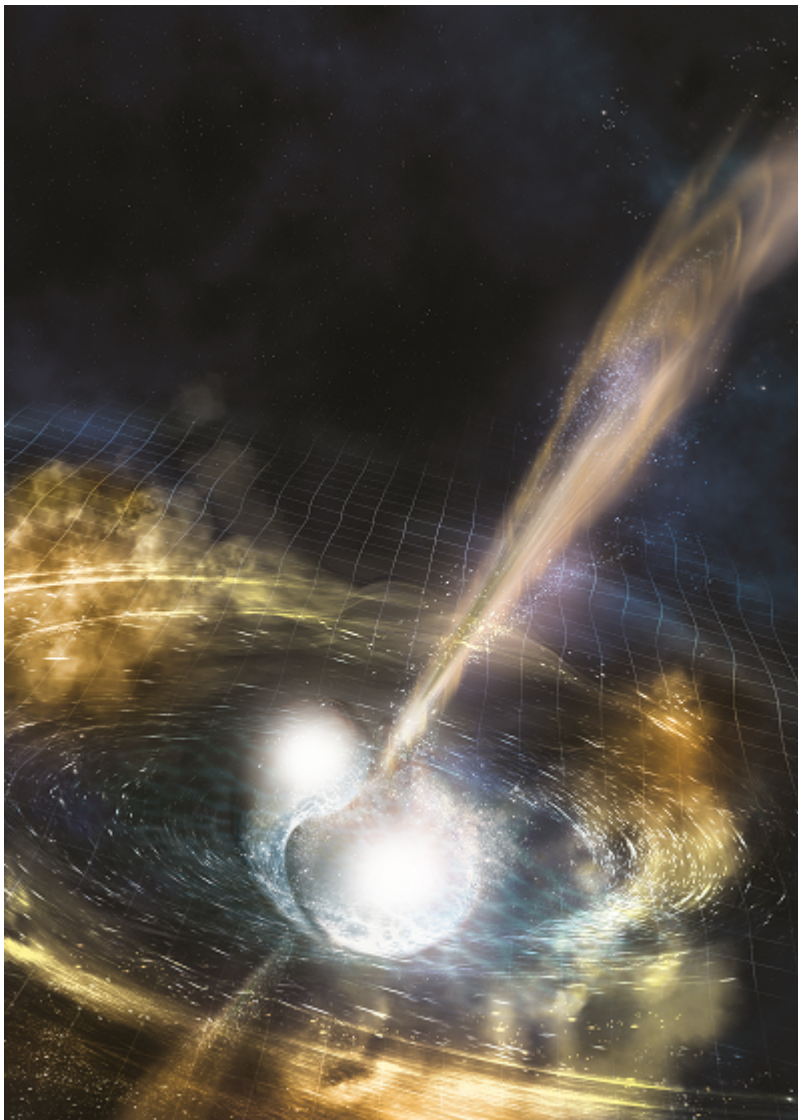
Die euforie van de eerste dag voelde ik weer bij de detectie van de binaire neutronenster.

QU - "Leuk om te horen. Natuurlijk zijn we ook steeds geïnteresseerd in de mate waarin Nederland heeft bijgedragen aan deze ontdekking."

Chris - "De bijdragen waren absoluut cruciaal. Ik weet niet in hoeveel technisch detail ik kan treden, maar enkele onmisbare experimentele onderdelen zijn hier op Nikhef gemaakt, zoals instrumenten om het laserlicht van de interferometer te stabiliseren, en de seismische trillingen te minimaliseren. Wat betreft de analyses waren wij de grondleggers van de methoden om algemene relativiteitstheorie te testen, en ook waren wij de eersten die software hebben geschreven om die getijdekrachten tussen neutronensterren (waaruit hun toestandsvergelijking bepaald wordt - QU) te bestuderen. Ook wat kosmologie betreft, hebben we onontbeerlijke bijdragen geleverd aan het in kaart brengen van het universum aan de hand van zwaartekrachtsgolven. De Nederlanders waren onmisbaar."

QU - *"En de Vlamingen in Nederland."*

Chris - "Klopt (lacht)."



Afbeelding 4. Samensmeltende neutronensterren. Een artist impression van de gebeurtenis die de zwaartekrachtsgolf veroorzaakte. Afbeelding: NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet.

QU - "Een bijna existentiële vraag die voor iedereen geldt die beroepsmatig de kosmos begluurt, maar nog sterkervoor wetenschappers die relatief gezien piepkleine, pikzwarte objecten onderzoeken op vaak meer dan een miljard lichtjaar van je voordeur: waarom moeten we ons bezighouden met gebeurtenissen die zo ongrijpbaar zijn? Met gebeurtenissen die zo weinig invloed op onze samenleving hebben? Of hebben ze dat wel?"

Chris - "Ik denk dat ze dat wel hebben, ja. Het ene antwoord is dat fundamentele fysica bijna altijd toepassingen heeft, maar dat het bijna nooit te voorspellen is wat ze zullen zijn (lacht). Een beter begrip van de natuur leidt er vrijwel steeds toe dat we onze omgeving beter in de hand hebben. Een banaler antwoord luidt dat de hoge eis op de kwaliteit van de technologie bij die gigantische experimenten altijd gevolgen heeft voor de technologie die algemeen beschikbaar zal zijn. Een bekend voorbeeld is het internet, dat in essentie ontwikkeld werd door en voor het CERN, maar zelfs technieken van het Nikhef worden al geëxporteerd naar de industrie. Shell, bijvoorbeeld, is erg geïnteresseerd in onze expertise in seismografie, en de productie van kraakheldere spiegels zoals die in LIGO en Virgo gebruikt worden, vindt ongetwijfeld ook gauw een toepassing op de markt. Er is in die context een grap waarin de premier van Engeland op bezoek komt bij Faraday. Hij ziet de vonkjes, hoort de knallen, en alles is leuk en fijn. "Maar wat heb ik hier nu aan?" vraagt de premier na een tijd, en Faraday antwoordt: "Binnenkort kan u er belastingen op heffen.""

QU - "Dat zal onze overheid graag horen. Ten slotte nog even terug naar de wetenschap, want daar draait het voor ons toch eerder om. Het valt te vermoeden dat een miljardenproject als LIGO/Virgo nog meer voor ons in petto heeft. Welke ontdekkingen liggen in het bereik (of in de hoop) van de medewerkers, en wat zou je persoonlijk als de volgende doorbraak beschouwen?"

Chris - "Ik denk bijvoorbeeld aan een binair systeem waarbij het ene object veel meer massa heeft dan het andere, omdat dit erg interessante dynamische banen zou voorschrijven die ons veel kunnen leren. Ten tweede, en dan spreek ik, geloof ik, in naam van iedereen in het vakgebied, zijn we erg benieuwd naar de detectie van een achtergrondstraling in zwaartekrachtgolven. Tot nu toe hebben we alleen een elektromagnetische (micrgolf-)

achtergrondstraling gezien, die een paar honderdduizend jaar na de oerknal ontstaan is. De achtergrondstraling van zwaartekrachtsgolven, daarentegen, vindt haar oorsprong slechts een fractie van een seconde na de oerknal zelf, zodat we bijna de oerknal zelf zouden kunnen bekijken. Ten derde heerst er een theoretisch vermoeden dat zwarte gaten in werkelijkheid niet echt puntobjecten zijn, maar nog steeds een structuur blijven hebben. Dit type objecten zou, in tegenstelling tot 'klassieke' zwarte gaten, na het samensmelten een reeks naschokken geven in het zwaartekrachtssignaal als gevolg van quantummechanische effecten aan het oppervlak van het compacte object. Die naschokken, of echo's, hopen we eveneens op te vangen en te analyseren, wat de eerste empirische aanwijzingen zouden zijn voor quantumzwaartekracht."

QU - "Spannend! Heel erg bedankt voor je tijd."

Terwijl professor Chris Van Den Broeck naar zijn volgende groepsvergadering vertrekt, prijs ik me gelukkig dit vakgebied als specialisatie gekozen te hebben. Einstein zelf geloofde niet dat zwaartekrachtsgolven ooit gedetecteerd konden worden; het effect was simpelweg té klein. In elk geval op dat gebied konden we zijn ongelijk bewijzen. Het detecteren van de allerkrachtigste fenomenen in het volledig universum aan de hand van ronduit minuscule verschijnselen in kolossale vacuümtunnels is zonder meer een triomf van samenwerking en intellect te noemen.