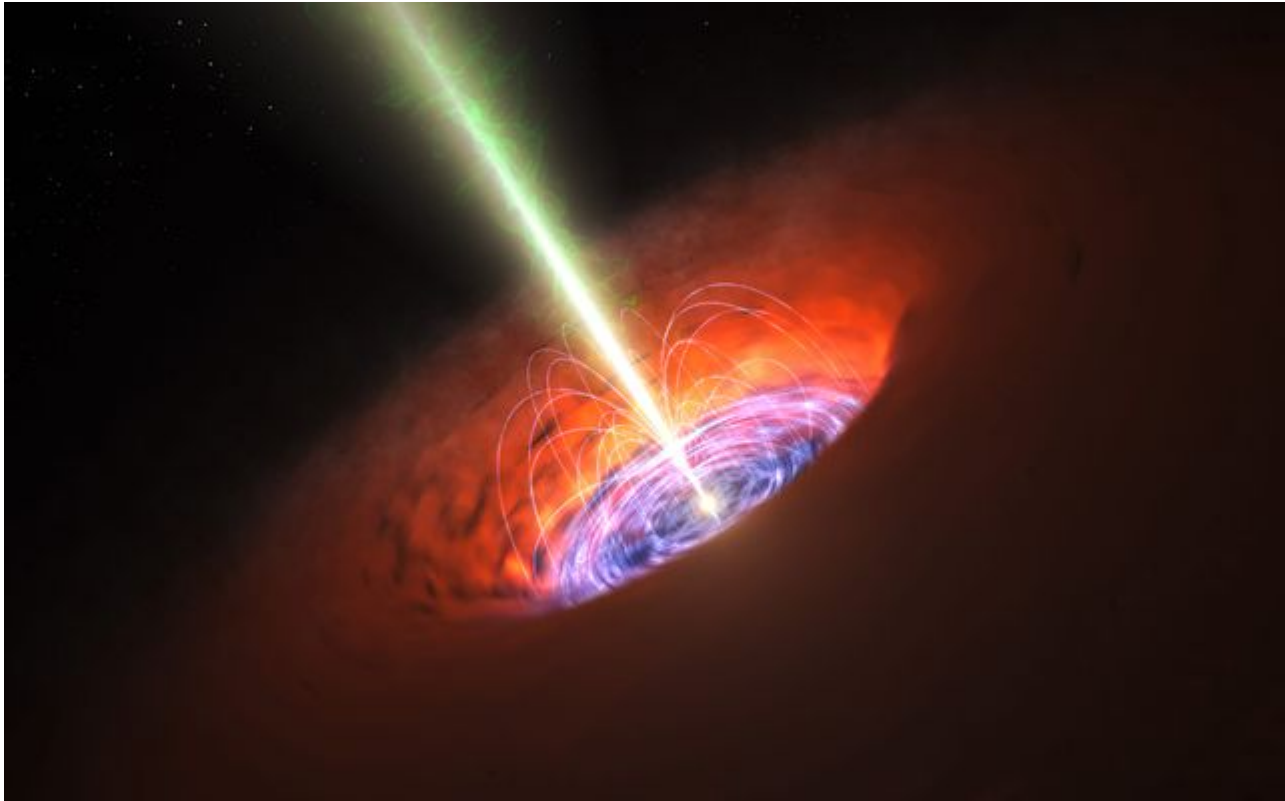


Op zoek naar het onzichtbare

Zwarte gaten waarnemen in het wild

In de theoretische natuurkunde spelen zwarte gaten een belangrijke rol, zoals we op deze website al vaak besproken hebben. Maar zwarte gaten zijn niet alleen theoretisch interessante objecten: we willen ze natuurlijk ook graag in de praktijk waarnemen. Hoe ga je in het heelal op zoek naar iets onzichtbaars? We vroegen astronoom Jakob van den Eijnden naar zijn antwoord.



Afbeelding 1. Een zwart gat. Artist impression van een superzwaar zwart gat zoals zich dat in het centrum van de meeste sterrenstelsels zou moeten bevinden. Het zwarte gat zelf kunnen we niet zien, maar wat eromheen gebeurt wel. Afbeelding: ESO.

Het onzichtbare zien

Zwarte gaten behoren tot de meest exotische objecten in de natuur- en sterrenkunde. Voor een eenvoudig beeld van een zwart gat kun je het beste denken aan het begrip ‘ontsnappingsnelheid’: de snelheid die nodig is om aan de zwaartekracht van een hemellichaam te ontsnappen. Op de aarde is deze snelheid een respectabele 11 kilometer per seconde — snel genoeg om een raket nodig te hebben om de ruimte te bereiken, maar niets vergeleken met een zwart gat. Daar is de ontsnappingsnelheid namelijk groter dan de snelheid van het licht. Met andere woorden: zelfs licht ontkomt niet aan de greep van het zwarte gat. En aangezien niets sneller kan bewegen dan het licht, ontsnapt er dus ook niets anders.

Dat zelfs licht niet kan weggelopen van de aantrekking van zwarte gaten, maakt deze objecten per definitie onzichtbaar. Maar het zou ongelooflijk jammer zijn als we nooit een zwart gat in het echt konden bestuderen. Ons begrip van het heelal is namelijk het beste te testen op

plekken waar de natuur het extreemst is: daar snappen we vaak het minst en falen onze natuurwetten het snelst, wat betekent dat er ook het meest te leren en begrijpen valt. Bovendien is het belangrijk om te weten of zwarte gaten slechts een theoretische constructie zijn, of ook daadwerkelijk in het wild voorkomen. In dit artikel beschrijf ik daarom een aantal manieren waarop sterrenkundigen deze onzichtbare zwarte gaten proberen te zien, en wat we daarvan kunnen leren.

Van theorie naar praktijk

Op de Quantum Universe-website staan vaak artikelen over de theoretische eigenschappen van zwarte gaten — zie bijvoorbeeld [deze serie](#) — maar in dit artikel focussen we op waarnemen. Dus hoe doe je dat: het onzichtbare zien? Interessant genoeg is dit iets wat we als mensen continu doen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de wind. Als je nu naar buiten kijkt, kun je meteen zien of het waait. Dat doe je echter niet door de wind zelf te zien, maar door zijn effect waar te nemen — blaadjes die bewegen in bomen, of fietsers die in één richting lachen en in de andere richting afzien. Aan de beweging van de bladeren kun je zelfs iets zeggen over de snelheid en richting van de onzichtbare wind. Op dezelfde manier kun je ‘zien’ dat een magneet een magnetisch veld heeft, door ijzervijlsel er bovenop te leggen. Ditzelfde principe gebruiken we voor zwarte gaten, waar we in groot detail bestuderen hoe sterren en gaswolken zich gedragen als ze zich in de buurt van een zwart gat bevinden.



Afbeelding 2. Een magnetisch veld. Magnetische veldlijnen kun je niet rechtstreeks zien, maar door hun effect op ijzervijlsel kun je ze wel zichtbaar maken. Foto: [Windell Oskay](#) (CC-BY 2.0).

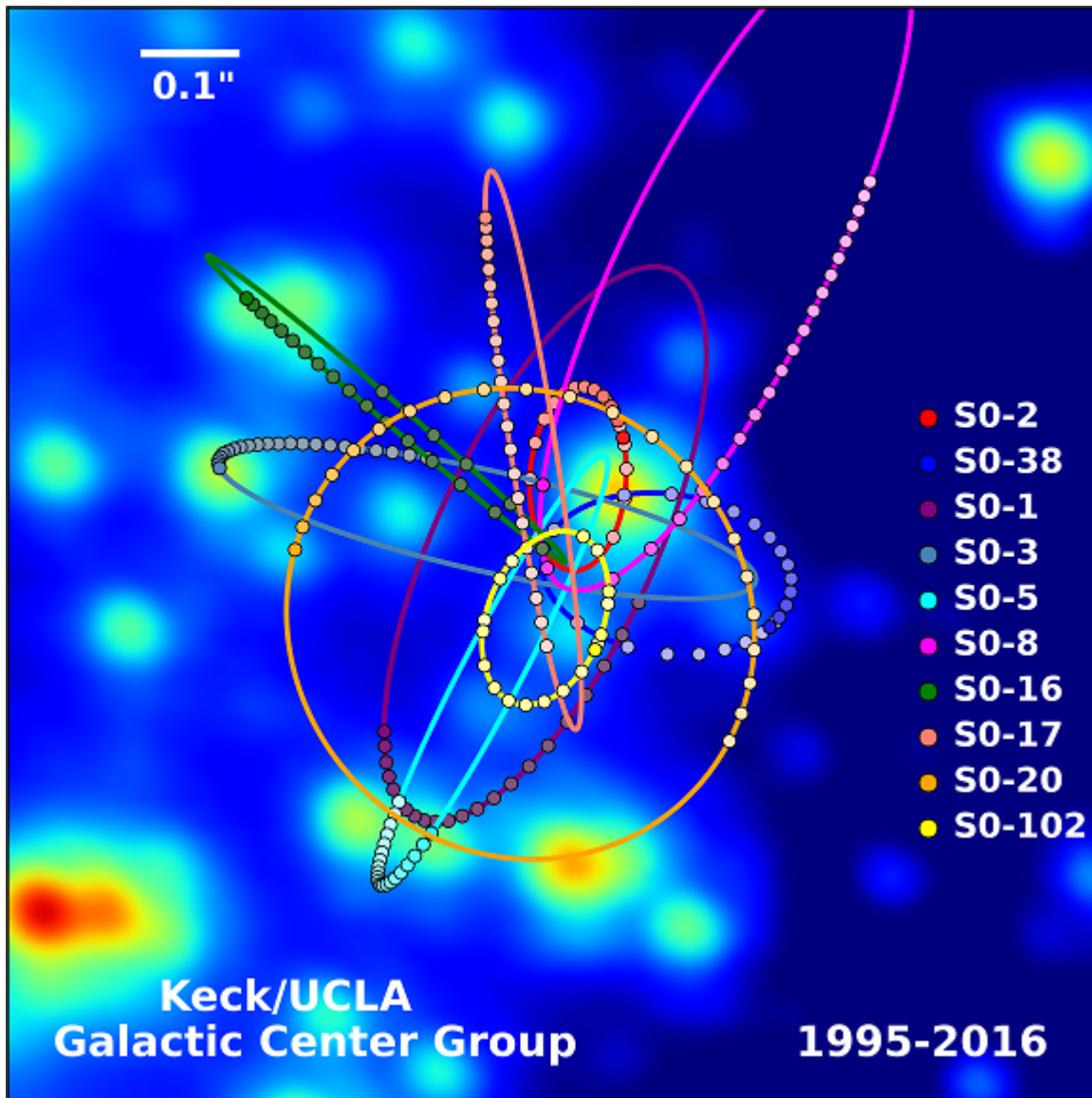
Voordat we kijken naar een aantal voorbeelden van het waarnemen van zwarte gaten, is het goed om eerst te weten welke *soorten* zwarte gaten we kennen in de natuur. Volgens de algemene relativiteitstheorie van Einstein, waar zwarte gaten als directe voorspelling uitrollen, kunnen al hun eigenschappen compleet worden gevangen door drie getallen: hun massa, rotatiesnelheid, en elektrische lading. In het heelal zit de grootste variatie in de eerste van die drie, van ongeveer de massa van de zon tot miljarden keren zwaarder. De manieren waarop we die twee soorten zwarte gaten zien — de lichte en de superzware — lijken op het eerste gezicht fundamenteel verschillend, hoewel ik in dit artikel zal uitleggen dat dat in de praktijk wel meevalt.

Superzware zwarte gaten

Laten we beginnen met de superzware zwarte gaten. We weten tegenwoordig dat

waarschijnlijk elk sterrenstelsel zo'n zwart gat in zijn centrum huisvest. Zo ook onze Melkweg, waar het zwarte gat met de naam Sagittarius A* zich in het midden bevindt. (Dat sterretje betekent geen voetnoot maar is onderdeel van de naam; astronomische naamgevingen zijn helaas niet altijd even praktisch of stijlvol.) Aangezien dit zwarte gat sterrenkundig gezien vlak in de buurt is, is het mogelijk om met telescopen in te zoomen op sterren die zeer dicht rond Sagittarius A* bewegen.

Door deze sterren vele jaren te volgen, is het zelfs mogelijk om te zien dat ze allemaal in elliptische banen rond hetzelfde punt bewegen. Dit lijkt op de planeten in ons zonnestelsel die rond de zon bewegen, maar dan met één fundamenteel verschil: waar de planeten rond de zon draaien, lijken de sterren in het centrum van de Melkweg om *niets* heen te bewegen. Op basis van de banen van de sterren kan worden geschat dat dit *niets* ruim 4 miljoen keer zwaarder moet zijn dan onze zon, maar dat al die massa is samengepropt binnen een afstand kleiner dan het formaat van ons zonnestelsel. Slecht één verklaring past bij deze eigenschappen: een enorm zwart gat.



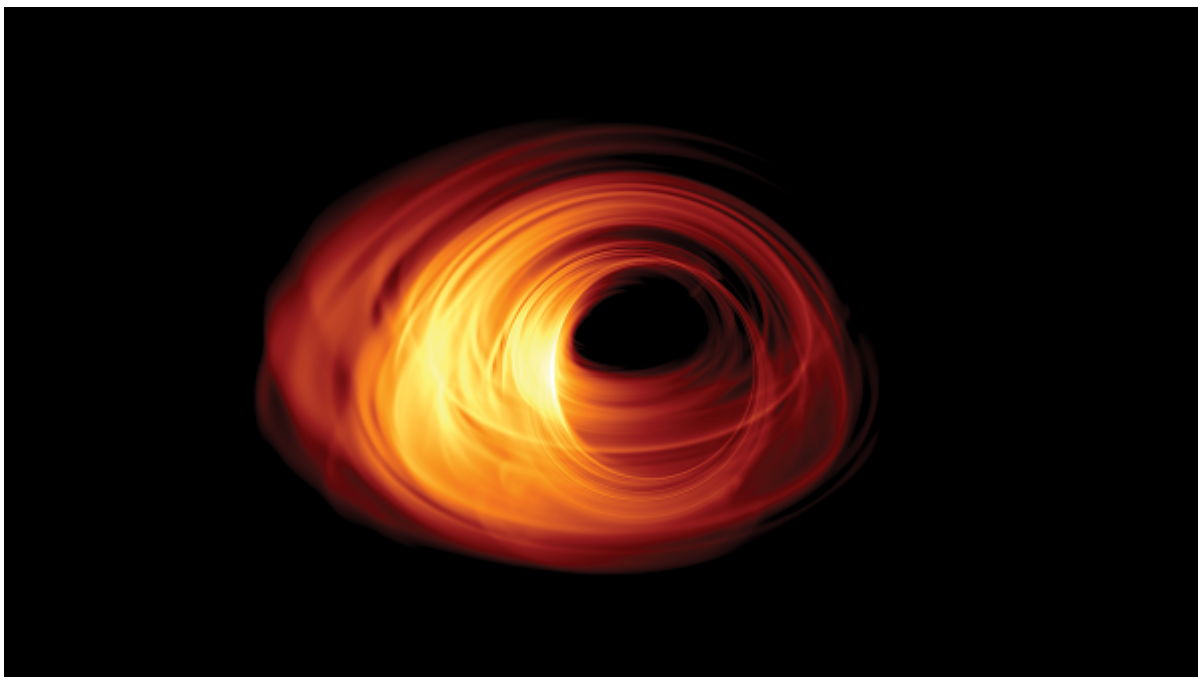
Afbeelding 3. Sterren vlakbij het melkwegcentrum. De sterren in de buurt van het centrum van onze melkweg draaien allemaal met enorme snelheden rond een punt in het midden. Er is maar één verklaring voor het “niets” waar deze sterren omheen draaien: een zwart gat. Afbeelding: Prof. Andrea Ghez & research team (UCLA), W. M. Keck Telescopes.

Kosmische draaikolken

Zoals gezegd bevat ieder sterrenstelsel waarschijnlijk zo'n superzwaar zwart gat in zijn midden. Waar in de Melkweg de sterren rustig om het zwarte gat heen draaien, komt er in andere sterrenstelsels wel eens een ster te dichtbij. Dat geeft een geweldige manier om ook daar zwarte gaten te bestuderen, ondanks de veel grotere afstand tot de aarde. Komt een ster namelijk te dichtbij, dan zal ongeveer de helft van haar materiaal gevangen worden door

de zwaartekracht, terwijl de andere helft weg zal vliegen. De gevangen helft vormt dan als het ware een draaikolk, met het zwarte gat als afvoerput waarin het materiaal langzaam maar zeker verdwijnt. Dit diner van het zwarte gat, dat sterrenkundigen *accretie* noemen, gaat gepaard met een hoop geweld: het verdwijnende gas wordt namelijk miljoenen graden heet en zendt daardoor, vlak voordat het in het zwarte gat terechtkomt, zoveel licht uit dat we dat op aarde kunnen waarnemen en bestuderen.

Dit proces van accretie vindt echter vaker op een minder onverwachte en minder kortstondige wijze plaats. Meestal 'eet' het zwarte gat niet van te dichtbij passerende sterren, maar van rondzwevend gas in zijn omgeving. Dat is wat bijvoorbeeld Sagittarius A* in onze Melkweg ook doet. En hoewel hierbij veel minder licht wordt uitgezonden, is dit proces nog wel waar te nemen. Bovendien, omdat Sagittarius A* relatief zo dichtbij is, geeft dat zelfs de kans om de rand — de *event horizon* — van dat zwarte gat waar te nemen, door te kijken naar de plek waar het gas over de rand verdwijnt. Hoewel dit nog nooit is gelukt, zijn sterrenkundigen dichtbij het maken van deze eerste 'foto' van een zwart gat zelf. De eerste plaatjes worden misschien zelfs dit jaar al verwacht, dus stay tuned.



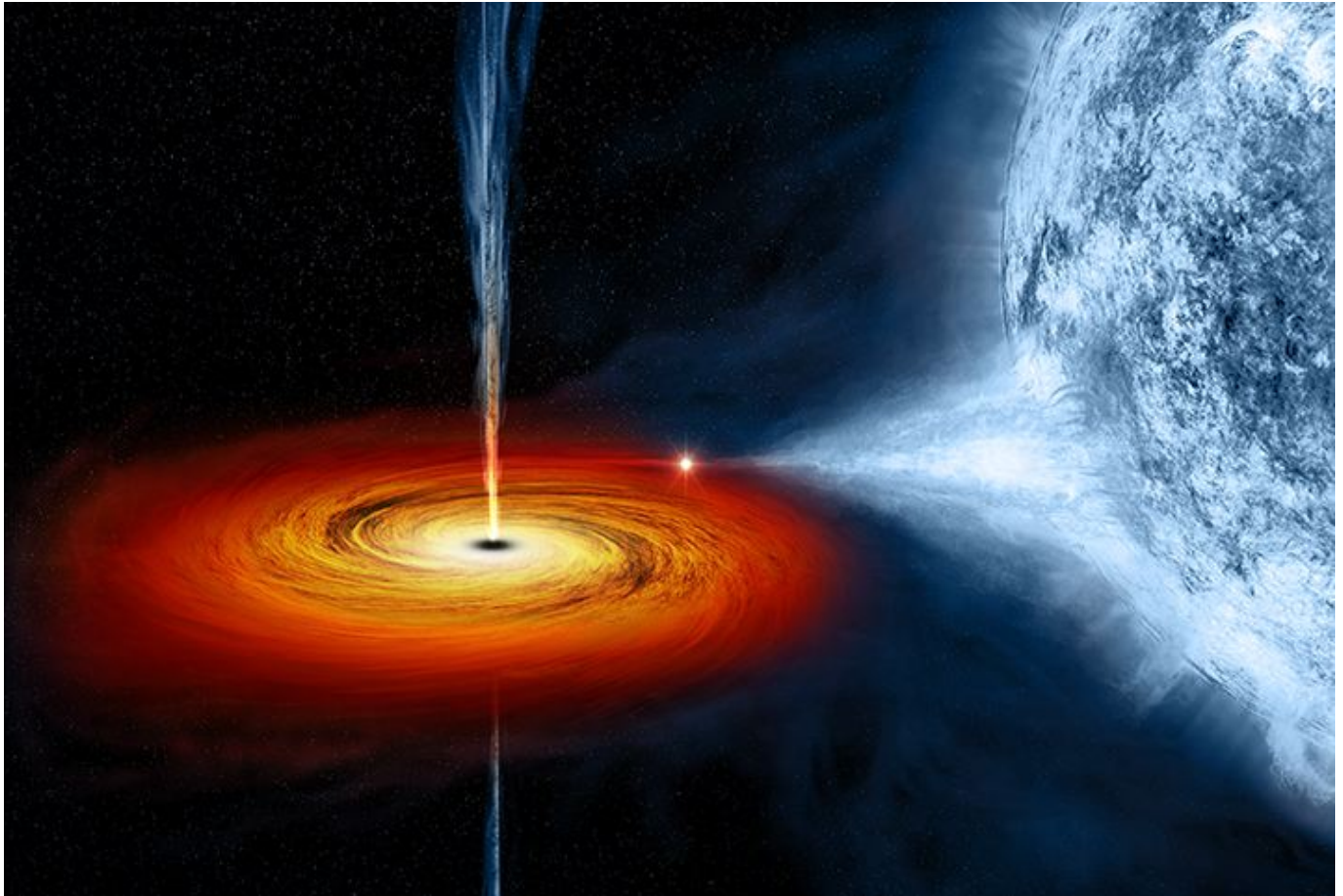
Afbeelding 4. Een foto van een zwart gat?Echte foto's van een zwart gat zijn nog nooit gemaakt, maar dat zou binnen zeer korte tijd kunnen veranderen. Deze afbeelding toont een computersimulatie van wat we dan

verwachten te zien. Afbeelding: T. Bronzwaer, J. Davelaar en Z. Younsi, Radboud Universiteit Nijmegen.

Fast-forwardversie

De bovenstaande manieren om zwarte gaten te 'zien', werken vooral goed voor de superzware zwarte gaten. Hun kleinere soortgenoten zijn echter ook te vinden. Zo zit ons hele heelal vol met *binaire systemen*, waarin een zwart gat en een normale ster om elkaar heen draaien. Meestal levert dit niet veel spectaculairs op, en doet de normale ster eigenlijk hetzelfde als de sterren die rond Sagittarius A* bewegen. Maar als de afstand tussen de twee hemellichamen in het binaire systeem klein genoeg is, kan het zwarte gat langzaam maar zeker gas van de ster afsnoepen. Ook hierbij kunnen we waarnemen hoe dit materiaal geleidelijk door het zwarte gat wordt verorberd, tot er van de ster weinig meer over is.

Voor sterrenkundigen heeft het kijken naar deze lichtgewichtten een enorm voordeel: terwijl de superzware varianten er eigenlijk altijd ongeveer hetzelfde uit blijven zien, veranderen deze binaire systemen vaak om de paar maanden tot paar jaar van uiterlijk. Zo'n *fast forward*versie van een etend zwart gat maakt het leven van een sterrenkundige met een carrière van enkele decennia natuurlijk een stuk makkelijker.



Afbeelding 5. Een klein zwart gat. Artist impression van een “klein” zwart gat in een binair systeem. De draaikolk van accretie-materiaal is duidelijk zichtbaar. Afbeelding: NASA.

Van theorie naar praktijk - en terug

Wat leren we nu van al deze waarnemingen? Waarom zijn die belangrijk voor natuurkundige theorieën — belangrijk genoeg om op een website over theoretische fysica besproken te worden? Uiteindelijk kan de theorie niet zonder experimenten, in de sterrenkunde specifieker gezegd: *waarnemingen*, en kunnen experimenten niet zonder een theorie. Het waarnemen van zwarte gaten bevrijdt deze objecten van de pen en het papier van de theorie — nadat deze theorie natuurlijk eerst de waarnemers op een zoektocht stuurde. Net als de componenten van een binair systeem zijn theorie en waarneming dus onlosmakelijk met elkaar verbonden. Waarnemingen van onder andere de baan van Mercurius zetten Einstein aan tot het opstellen van de relativiteitstheorie, en de daaruit volgende zwarte gaten zonden sterrenkundigen op een experimentele zoektocht naar het onzichtbare.

Alle technieken om zwarte gaten te zien die in dit artikel zijn langsgekomen, zijn uiteindelijk

enigszins rommelig: we zien nooit alléén een enkel, schoon zwart gat. Altijd is er een rol weggelegd voor extra materiaal met eigen, verwarrende eigenschappen: om een etend zwart gat te begrijpen, moet je zowel het zwarte gat als het eten begrijpen. De recente ontdekkingen van zwaartekrachtsgolven, waarin we zien hoe twee zwarte gaten samensmelten tot één en daarbij de ruimte laten trillen, zijn vanuit dat perspectief zeer interessant. Hoewel we de zwarte gaten nog steeds 'zien' door hun invloed op een ander medium — de lege ruimte zelf — is dat medium zeer goed begrepen. Het beeld van deze zwarte gaten is daardoor helderder dan ooit tevoren. Op die manier kunnen we niet alleen controleren óf zwarte gaten bestaan, maar ook beginnen exotischere ideeën over hun eigenschappen — en over de zwaartekracht zelf — te testen.