

Zwaar, zwaarder, zwaarst!

Tien jaar geleden, op 14 september 2015, observeerden wetenschappers voor het eerst zwaartekrachtsgolven. Zulke golven waren vele jaren eerder door Einstein al voorspeld als gevolg van zijn algemene relativiteitstheorie. De in 2015 gemeten zwaartekrachtsgolven waren vrijgekomen toen twee zwarte gaten samensmolten tot één zwart gat. In de jaren die volgden, bleven wetenschappers luisteren naar de hemel en hun resultaten delen met de wereld.



Afbeelding 1. De Krabnevel. De Krabnevel is een restant van een supernova die werd waargenomen in 1054. In het centrum van de Krabnevel bevindt zich een neutronenster, de Krabpulsar. Afbeelding: [NASA, ESA, CSA, STScI, T. Temim \(Princeton University\)](#).

Afgelopen zomer, op 10 juli 2025, publiceerden onderzoekers [een artikel](#) over GW231123: ook twee zwarte gaten die samensmolten tot één. De wetenschappers van de LIGO-, Virgo- en KAGRA-detectoren hebben al veel van deze evenementen gedetecteerd, maar er is iets bijzonders aan deze observatie: de massa van de zwarte gaten ligt precies in een bereik waarvan sterrenkundigen niet weten hoe ze kunnen ontstaan!

Stereolutie

Afhankelijk van de massa kan het “leven” van een ster op verschillende manieren eindigen.

Bij sterren zoals de zon vindt in de kern fusie van waterstof tot helium plaats, wat de ster energie geeft om te stralen. Na verloop van tijd raakt het waterstof op. Door een combinatie van processen zal de ster enorm uitzetten, en doordat de temperatuur hierdoor afneemt, krijgt de ster een rode kleur. We noemen zo'n opgezwollen ster een rode reus. Vervolgens, als de temperatuur in de kern steeds hoger wordt, zal deze ineenstorten tot een witte dwerg, terwijl de buitenste gaswolken wegdrijven. Dit is grofweg het levenspad van sterren met een massa tussen 0,6 en 10 maal de massa van de zon, en dus ook het lot van onze zon zelf. Voor zwaardere sterren geldt iets anders. Deze sterren worden eerst een rode superreus, en daarna exploderen ze in een supernova. Wat in het centrum van zo'n explosie resteert is een neutronenster of een zwart gat.

Er is echter een beperking aan de massa van zwarte gaten die op deze manier kunnen ontstaan. Sterren met een massa van 130 tot 250 zonsmassa's ondergaan een bijzonder soort supernova. Bij dit soort supernovae blijft er geen restant over; alle sterresten worden weggeblazen in de explosie. Deze sterren zullen dus geen zwart gat vormen. Er is dus een 'leegte' in het spectrum van zwarte gaten dat kan ontstaan door het instorten van een dergelijke zware ster. Over de precieze onder- en bovengrens wordt gediscussieerd: de ondergrens ligt tussen de 40 en 60 zonsmassa's en de bovengrens tussen de 120 en 180 zonsmassa's.

Superzware zwarte gaten

Naast de categorie van 'gewone' zwarte gaten als eindpunt van sterevolutie bestaat er nog een andere groep zwarte gaten: superzware zwarte gaten. Dit soort zwarte gaten weegt honderdduizend tot wel een miljard maal zo veel als de zon! Superzware zwarte gaten zijn te vinden in het centrum van bijna elk sterrenstelsel. Ook in onze eigen Melkweg bevindt zich zo'n superzwaar zwart gat: Sagittarius A*, 4 miljoen keer zo zwaar als de zon.

Omdat superzware zwarte gaten zich in het centrum van sterrenstelsels bevinden, trekken ze de omliggende sterren en gaswolken door de enorme zwaartekracht naar zich toe. Als gevolg hiervan worden de zwarte gaten steeds zwaarder en zwaarder; dit is hoe ze zo superzwaar zijn geworden. In de regel geldt dan ook: hoe groter en zwaarder het sterrenstelsel, hoe zwaarder het superzware zwarte gat in het centrum.



Afbeelding 2. Een superzwaar zwart gat. Een artist's impression van een sterrenstelsel met een superzwaar zwart gat in het centrum, waarvandaan in twee richtingen kosmische jets worden uitgezonden. Afbeelding via [ESA/Hubble, L. Calçada \(ESO\)](#).

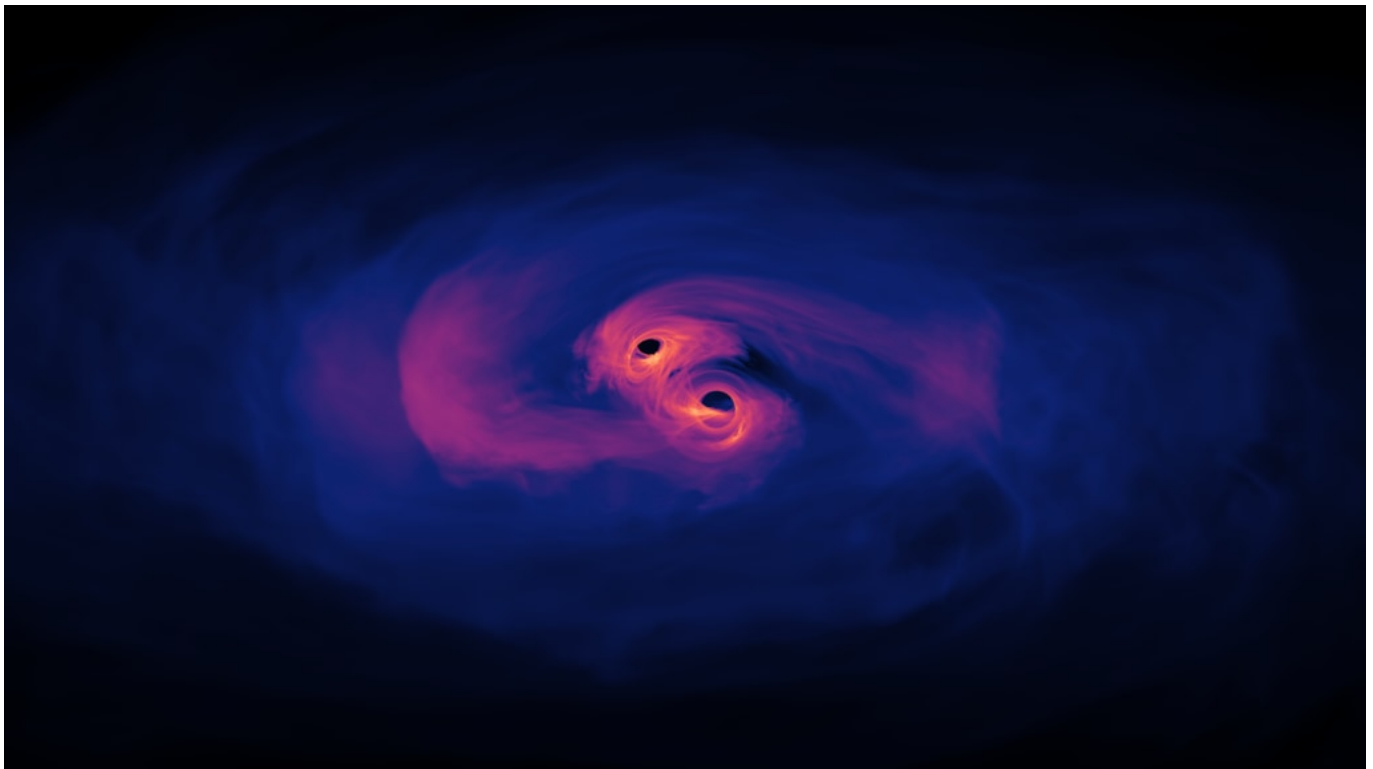
Middelzware zwarte gaten

De meting die afgelopen zomer werd gepubliceerd ging om een *black hole binary*, een tweetal zwarte gaten die samensmelten tot een nieuw zwart gat. Het zwarte gat dat resulteerde heeft een massa van 190 tot 225 zonsmassa's. Het zwaarste zwarte gat dat voor die tijd was gemeten had een eindmassa van zo'n [150 zonsmassa's](#), een stuk lager dus¹. De onderzoekers hebben uitgerekend hoe zwaar beide zwarte gaten waren die samensmolten, en vonden dat het zwaarste zwarte gat rond de 140 zonsmassa's omvatte en het lichtere zwarte gat rond de 100. Beide massa's liggen in de buurt van de leegte die niet verklaard kan worden door de ineenstorting van een ster.

De onderzoekers hebben uitgerekend hoe groot de kans is dat beide zwarte gaten tóch niet in de massa-leegte liggen. Zoals eerder genoemd is niet helemaal duidelijk wat de onder- en bovengrens van die leegte is. De kans dat beide zwarte gaten buiten het bereik vallen is 14%, en de kans is dus rond de 86% dat minstens één van de zwarte gaten een massa heeft

die niet te verklaren is vanuit de ineenstorting van een ster.

De verklaring die de wetenschappers opperen is dat één of beide van de zwarte gaten zelf ook weer zijn ontstaan uit een samensmelting van twee zwarte gaten. Er is alleen iets gek aan de hand met deze optie. Beide zwarte gaten in de samensmelting draaiden heel hard: hun rotatie lag rond de 80 tot 90 procent van het maximaal mogelijke². Laten we de twee zwarte gaten van ongeveer 100 en 140 zonsmassa's de *ouders* van het zwarte gat van 190-225 zonsmassa's noemen. Beide ouders hebben dus een relatief hoge rotatie. Als een van de ouders ook is ontstaan uit samensmelting, heeft dit zwart gat ook weer twee ouders. Laten we deze twee zwarte gaten hier de *grootouders* noemen.



Afbeelding 3. Twee samensmeltende zwarte gaten. Momentopname van een simulatie van de samensmelting van twee superzware zwarte gaten. Afbeelding: [NASA's Goddard Space Flight Center/Scott Noble](#).

Als twee zwarte gaten, de grootouders, van ongeveer dezelfde massa samensmelten, wordt hun rotatie bij elkaar opgeteld. Als de rotatie van de twee grootouders net een andere richting heeft, betekent dit meestal dat de totale rotatie afneemt. Als de samensmelting is tussen een relatief zwaar en licht zwart gat, zal de rotatie van het zwaardere zwarte gat domineren. Omdat de ouder-zwarte gaten veel rotatie hebben, is de verwachting dus dat één

van de grootouders veel zwaarder was dan de ander. Als gevolg hiervan ligt het zwaardere grootouder-zwart gat hoogstwaarschijnlijk óók in de massa-leegte, weer met relatief veel rotatie, en blijft de vraag hoe dít zwarte gat dan weer is ontstaan!

Er is dus zeker wel een mogelijke verklaring voor de samensmelting van deze middelzware zwarte gaten, maar er zijn ook nog heel veel vragen die overblijven. Misschien is er nog een andere manier waarop zwarte gaten kunnen ontstaan, waar we nu het bestaan nog niet van weten?

In onderstaand filmpje bespreekt Neil deGrasse Tyson de ontdekking van deze middelzware zwarte gaten, en waarom dit geen probleem voor de natuurkunde is, maar juist een spannende uitdaging!

[1] Er waren wel zwarte gaten gemeten met vergelijkbare eindmassa's (zie [dit artikel](#) en [dit artikel](#)), maar die metingen zouden een "vals alarm" kunnen zijn. Naast de correcte metingen wordt in die gevallen meer dan 1 keer per jaar zo'n vals alarm verwacht. Naast de correcte metingen wordt daarentegen minder dan eens per paarhonderd jaar een signaal als GW231123 verwacht, een stuk minder dus!

[2] Draaiende zwarte gaten kunnen een maximale hoeveelheid rotatie (impulsmoment) hebben, die afhangt van hun massa. Zwarte gaten die maximaal hard roteren worden ook wel extreme zwarte gaten genoemd; zulke objecten heb ik eerder beschreven in [dit artikel](#).