

## Je kunt ze niet zien en toch moeten ze bestaan

Als de straling van een ster vermindert, kan hij door de naar binnen gerichte druk van de zwaartekracht ineenstorten. Wat overblijft is een zwart gat. Uit zo'n zwart gat kan geen licht meer ontsnappen. Je kunt hem dus nooit zien. **Maar... hoe weet je dan dat hij bestaat?**

# ZWARTE GATEN

In de huidige natuurkundige theorie is de zwaartekracht allesbeheersend. Het hele ontstaan en de structurering van het heelal worden toegeschreven aan slechts de werking van de zwaartekracht. Daaruit is een opvatting voortgekomen over het ontstaan en de ontwikkeling van sterren. Die beginnen hun leven door samentrekking van materie, waardoor ze steeds heter worden. Uiteindelijk is de kern zo heet dat daar waterstof door kernfusie overgaat in helium. Dit is de kracht- en

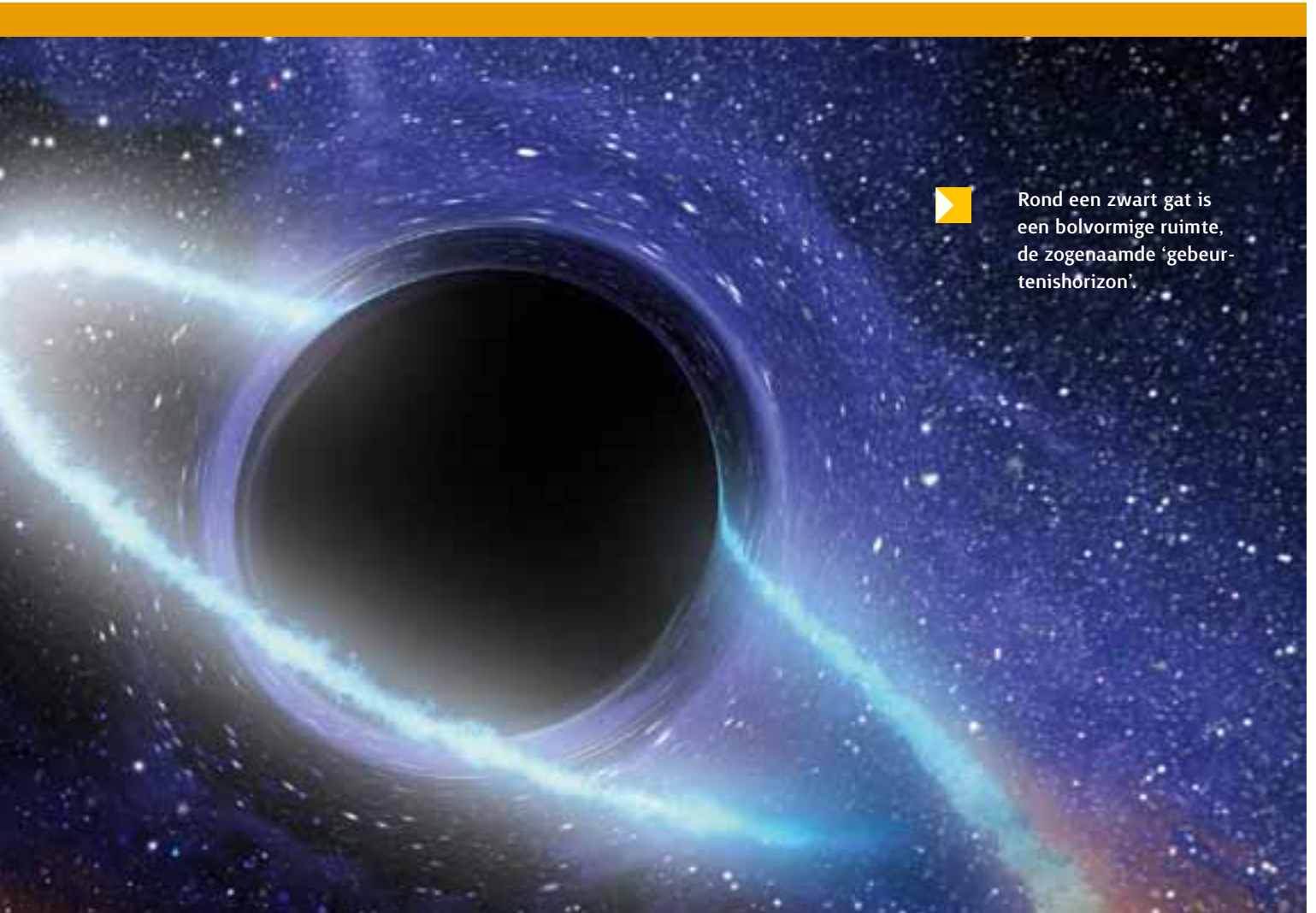
lichtbron van sterren. De straling van deze nucleaire processen is in evenwicht met de naar binnen gerichte druk van de zwaartekracht. Wanneer de brandstof op is, valt de stralingsdruk weg en blijft alleen de zwaartekracht over. Daardoor stort de ster in elkaar.

### WITTE DWERG

Wat er vervolgens gebeurt, hangt af van de grootte van de ster. Als de massa ongeveer gelijk is aan die

van de zon, ontstaat er een 'witte dwerg' (even massief als de zon, maar even groot als de aarde). Is de massa groter dan 1,4 maal de zon, dan ontstaat er een

**ALS DE BRANDSTOF OP IS, VALT DE STRALINGS-DRUK WEG EN STORT DE STER INEEN...**



Rond een zwart gat is een bolvormige ruimte, de zogenaamde 'gebeurtenishorizon'.

## 'STOFZUIGERS' VAN DE RUIMTE



De theorie luidt dat de meeste zwarte gaten om hun as draaien. Daardoor brengen ze (in een draaiende beweging) allerlei stof en gas in een 'schijf' eromheen. Door de enorme zwaartekracht van het

zwarte gat wordt er steeds materie uit die aangroeiende schijf – door de gebeurtenishorizon heen – het zwarte gat in getrokken. Dat gaat gepaard met groot geweld. Er wordt uit die aansnellende materie straling uitgezonden, die wetenschappers kunnen registreren als geconcentreerde straling in smalle bundels (zogenaamde 'jets') die uit de boven- en onderkant van het zwarte gat schijnen te 'spuiten'.



Jets zijn smalle bundels straling die uit het zwarte gat 'spuiten'.

'neutronenster' (alle ruimte tussen de deeltjes is weg, en een theelepeltje van dit materiaal weegt meer dan duizend oorlogsschepen). Tijdens de vorming van zo'n neutronenster worden de buitenste lagen met veel geweld weggeblazen en de ster lijkt enorm op te lichten. Dit noemen we een 'nova' of 'supernova'.

### HET ONTSTAAN

Maar hoe ontstaat een zwart gat? Dat gaat volgens de theorie als volgt:



Als sterren zwaarder zijn dan driemaal de zon, gaat het er nogal wat anders toe dan bij witte dwergen en neutronensterren.



Als die zware sterren ineenstorten, comprimeren ze tot een klein bolletje met oneindige dichtheid. Dat noemen we een zwart gat.



Rond dat zwarte gat is een bolvormige ruimte: de zogenaamde 'gebeurtenishorizon'. Waarom die ruimte zo heet? Omdat de ontsnappingsnelheid vanaf die gebeurtenishorizon en verder naar binnen, hoger is dan de lichtsnelheid van 300.000 km/seconde. Zo heftig is de

# VOORTSCHRIJDEND INZICHT

▶ Ooit dacht men dat het hele heelal bestond uit ons eigen zonnestelsel: de aarde stond in het middelpunt en de zon, maan en planeten draaiden daar elke 24 uur hun rondjes om. De sterrenhemel werd gezien als een bol waarachter lichtjes schenen. Dit model stamt af van de Griekse denker Aristoteles.

▶ Begin zestiende eeuw stelde Copernicus dat de zon in het middelpunt stond en de aarde 'slechts' één van de planeten was. Later bevestigde Galileï (begin zeventiende eeuw) dat beeld. Dat kon hij doen omdat hij een beter instrument had: een telescoop. Telkens weer blijkt dat er wetenschappelijke



Copernicus

doorbraken komen door betere en meer verfijnde instrumenten.

▶ In de negentiende eeuw werd ontdekt dat de Melkweg – een lichte band aan de hemel met vele

sterren – de zijkant was van een zogenaamd 'sterrenstelsel', waarvan ons zonnestelsel deel uitmaakt. Maar het was pas in de twintigste eeuw dat men begon in te zien



Galilei

(alweer door betere instrumenten) dat er meer van zulke sterrenstelsels waren. De Melkweg blijkt qua omvang maar een middelmatige

te zijn. Ons zonnestelsel zit ergens aan de rand van een van de spiraalarmen van de Melkweg.

▶ De huidige opvatting is dat er zo'n 100 miljard sterren in de Melkweg zitten, en dat er honderden miljarden sterrenstelsels zijn. Al die stelsels hebben elk minstens 100 miljard sterren, die zijn georganiseerd in zogenaamde clusters (groepen sterrenstelsels) en superclusters (groepen clusters). En alles is op een ingenieuze wijze gestructureerd!

zwaartekracht in zo'n zwart gat!

Nu is het duidelijk waarom een zwart gat zo wordt genoemd. Er kan namelijk geen licht meer uit ontsnappen. Je kunt een zwart gat dus nooit zien. Maar hoe weten we dan toch dat het bestaat? De straling is met speciale apparatuur te registreren. Maar we weten ook dat zwarte gaten bestaan omdat dat uit de theorie volgt. Verschillende verschijnselen die een zwart gat volgens de theorie begeleiden worden inderdaad waargenomen en veel voorspellingen over zwarte gaten zijn uitgekomen.

▶ Bij het ontstaan zal dat zwarte gat vaak een deel van de buitenste lagen van de ster wegblazen. Dat kan met zo'n energie gebeuren dat er krachtige gammastraling wordt uitgezonden. Gammastraling is straling met een hele korte golflengte en daarom grote energie. Die straling

kan zo helder zijn dat het totale licht van meerdere sterrenstelsels daarbij verbleekt!

## DRIE PROBLEMEN

Het huidige model heeft tot nu toe goede verklaringen gegeven van verschijnselen rond zwarte gaten. Zoals gezegd zijn veel voorspellingen uitgekomen. Maar er is een groeiend aantal zaken waarvoor (nog) geen goede verklaring is:

▶ **Waar blijft bijvoorbeeld het materiaal dat in het zwarte gat 'valt'?** Worden die zwarte gaten niet steeds maar

geen enkele andere soort straling. Veel oplossingen zijn aangedragen, maar geen enkele is bevredigend.

▶ Een derde probleem is het volgende: **als een zwart gat zo'n massieve zwaartekracht heeft, dan moet licht dat langs zo'n zwart gat scheert een heel stuk worden afgebogen.** Dat volgt uit Einsteins relativiteitstheorie. Bij een zonsverduistering kun je zien(!) dat het licht van sterren die vlak naast de zon staan wordt afgebogen, zodat je de ster nog ziet als hij al achter de zon had moeten zijn. Wetenschappers zoeken de hemel af naar lichtafbuiging door zwarte gaten en sommige claimen er ook al heel wat te hebben ontdekt. Toch blijft het bijzonder... Onderzoek naar ons 'eigen' zwart gat, Sagittarius A\* (zie kader hiernaast), toont aan dat daar geen sprake is van afbuiging van langskomend licht! Een probleem dus.

De grote vraag is en

▶ Wetenschappers suggereren dat sommige zwarte gaten botsen en samenvoegen.



blijft: bestaan zwarte gaten wel echt? Velen hebben gevreesd voor het ontstaan van een zwart gat dat wellicht Genève zou opslokken, als de zogenaamde Large Hadron Collider, de gigantische deeltjesversneller onder de grond bij Genève, in werking zou worden gesteld. De condities ervoor waren volgens de theorie aanwezig. Er is zelfs afgeraden om het ding in werking te stellen. Maar het is gebeurd en Genève ligt er nog steeds. Is er misschien iets mis met de theorie?

In een volgend artikel zal hier verder op worden ingegaan. Ook komt daarin een heel ander theoretisch model aan de orde. Eens kijken in hoeverre de vreemde verschijnselen rond zwarte gaten daarin passen...

## OOK DE MELKWEG HEEFT EEN ZWART GAT

Het is duidelijk geworden dat er in het centrum van elk sterrenstelsel een zwart gat voorkomt. Ook in ons eigen Melkwegstelsel is er één, in het sterrenbeeld Boogschutter: Sagittarius A\*. Het is rond 4 miljoen zonnemassa's zwaar en 44 miljoen kilometer in doorsnee. Dat is iets groter dan de doorsnee van de baan die de planeet Mercurius om de zon maakt. Eromheen beweegt een hele serie sterren in elliptische banen. Naar dit zwarte gat wordt veel onderzoek gedaan.

Er is een verschijnsel waarvoor in het huidige model waarmee wetenschappers werken geen goede verklaring is te vinden.

Het opmerkelijke is namelijk dat de zwarte gaten in de kernen van de verderaf gelegen sterrenstelsels steeds helderder worden. Zo helder zelfs dat ze aanvankelijk een eigen naam hadden toen men

nog niet wist dat het zwarte gaten waren. Men noemde ze 'quasars' (quasi stellar objects). Hun helderheid is zo groot dat ze vaak het hele sterrenstelsel waarin ze voorkomen overstralen! Aan de rand van het zichtbare heelal zijn ze het helderst. Wat dat betreft gaat de naam 'zwart gat' in dit geval dus niet op.



ONDANKS VELE TESTS IS HIGGS-DEELTJE NOG STEEDS NIET GEVONDEN

# Hypothetische oerknal op miniformaat?

Kleine vuurballen, een miljoen keer warmer dan het centrum van de zon, moeten er door de deeltjesversneller in Genève hebben geraasd. De media maakten daar begin november melding van. Er zou zich 'een succesvolle mini-oerknal' hebben voorgedaan in de Large Hadron Collider van het CERN, de Europese Organisatie voor Kernonderzoek. Wat gebeurt er allemaal in die deeltjesversneller?

De Large Hadron Collider (LHC) in Genève is gebouwd om een hele serie experimenten te doen. Een deel daarvan heeft te maken met het verkrijgen

van inzicht in de eerste seconde(n) na de hypothetische oerknal. Het is inderdaad mogelijk om in dit apparaat temperaturen te bereiken die een miljoen keer hoger zijn dan de zon. De hete materie, die maar heel kort bestaat, wordt door zeer sterke magnetische velden op zijn plaats gehouden. Binnen die korte tijd worden deze materiedeeltjes tot een bijna lichtsnelheid opgevoerd, en dan laat men ze op elkaar botsen. Men hoopt dan dat er een situatie ontstaat zoals die ook wordt vermoed in het allereerste begin van de hypothetische oerknal ('Big Bang'). Die botsingen worden geregistreerd in technisch hoogstaande sensorappara-

◀ Sagittarius A\*, ons eigen zwarte gat