

# *Zwarte gaten*

Literatuurstudie Sterrenkunde 1  
Door: Jiri Tik Djiang Oen  
5814685  
Studie: Natuur- & Sterrenkunde  
November 2007

*De ideeën over het bestaan van zwarte gaten zijn al enkele eeuwen oud. Deze hemellichamen, die vele malen ouder zijn dan de ideeën er over hebben een simpele verklaring voor hun naam: Ze zijn zwart. Zwarte gaten hebben de eigenschap dat zij niks uitstralen of uitstoten, materie noch licht. Wanneer iets geen licht uitzendt of reflecteert, betekent dat niks minder dan dat het object niet kan worden gezien. Hoe is het dan mogelijk om iets waar te nemen wat je niet kan zien?*

*De laatste decennia heeft onderzoek in de sterrenkunde met betrekking tot zwarte gaten flinke vooruitgang geboekt. Het is nu mogelijk om er achter te komen waar zwarte gaten zich bevinden, en het is zelfs mogelijk om te berekenen hoe zwaar ze nu werkelijk zijn!*

### **Wat?! Een zwart gat?**

Het lijkt mij handig om eerst te beschrijven wat een zwart gat eigenlijk is. Een zwart gat is een object in de ruimte dat zeer veel massa bevat, maar tegelijkertijd zeer compact is. We moeten nu denken aan een object dat meerdere malen de massa van de zon bevat, tot wel miljarden keren, en een straal heeft van slechts enkele kilometers.

We kennen 4 elementaire krachten die op deeltjes uitgeoefend worden, waarvan zwaartekracht de zwakste is. Elk deeltje oefent zwaarte kracht uit op een ander deeltje. Hoe hoger de massa van een object, hoe meer zwaartekracht het heeft. De massa van een zwart gat is zo hoog dat de snelheid die een deeltje nodig heeft om er van te ontsnappen hoger is dan de snelheid van het licht. En omdat niets zich sneller kan voortbewegen dan het licht, ontsnapt er geen enkel deeltje uit een zwart gat, ook geen lichtdeeltjes. Omdat een zwart gat hierdoor geen licht kan uitzenden is het ook daadwerkelijk zwart.

Niet overal in het zwarte gat bevinden zich deeltjes. Al haar massa bevindt zich in een punt in het midden, en daar omheen bevindt zich niets. Dit komt doordat alle deeltjes die zich in een bepaalde straal vanaf het massapunt bevinden direct naar het massa punt worden getrokken. Deze straal heet de *Schwarzschildstraal* en wordt bepaald door de massa van het zwarte gat. Alles wat binnen de Schwarzschildstraal valt komt er nooit meer uit. Aan de rand van de Schwarzschildstraal is de ontsnappingssnelheid de snelheid van het licht en vanaf hier kunnen lichtdeeltjes dus weer ontsnappen en gezien worden. Deze rand heet de horizon.

Belangrijk om te weten is dat om het zwarte gat heen nog enkele andere evenementen plaats vinden waar ik het later over zal hebben. Om het gat draait een wolk van stof en gasdeeltjes die de *accretieschijf* genoemd wordt. Ook worden er deeltjes uitgestoten in *jets* die loodrecht op de accretieschijf staan. Dit geheel van zwart gat, accretieschijf, en jets wordt een *Quasar* (*quasi-stellar radio source*) genoemd (zie figuur 1).

### **Het ontstaan van een zwart gat**

Een ster is zo zwaar dat het normaal gesproken zou instorten onder zijn eigen zwaartekracht. Dat dit niet bij elke ster gebeurt is komt doordat een ster van binnenuit tegendruk biedt, door kernfusie. Wanneer kernfusie niet meer mogelijk is – over het algemeen is elk atoom dan in een ijzeratoom gereageerd, gezien de wet dat massa energie is – verdwijnt de tegendruk en gaat een ster *supernova* en klappt daarna ook werkelijk in elkaar. Nu is er mogelijk een zwart gat ontstaan. Het is niet in alle gevallen zo dat een ster verandert in een zwart gat. Dit hangt af van de massa van de ster. Onze zon is niet zwaar genoeg om helemaal in te deuken tot een zwart gat, en zal na zijn dood

omgevormd worden tot een *witte dwerg*. De zon met een diameter van  $1,4 \cdot 10^9$  krimpt dan tot ongeveer de grote van de aarde.

Zwaardere sterren tot een bepaald aantal keer de massa van de zon veranderen in neutronensterren, die een straal hebben van slechts enkele tientallen kilometers. De grens waar een ster een zwart gat wordt en geen neutronenster ligt op 3maal de zonsmassa en is te verklaren met het 2<sup>e</sup> postulaat van de relativiteitstheorie, dat niks sneller mag gaan dan het licht, ook geluid niet.

Op aarde plant het geluid zich door de lucht voort met een snelheid van ongeveer 330 m/s. Als je de moleculen dichter op elkaar pakt kan het geluid sneller overgebracht worden en wordt de geluidssnelheid hoger. Berekeningen, waar ik zelf echter niet veel van weet, hebben aangetoond dat de snelheid van het geluid hoger wordt dan de lichtsnelheid wanneer een neutronenster zwaarder is dan ongeveer 3 zonsmassas. Dit kan niet, dus een neutronenster kan dan niet bestaan. Een ster met miljoen keer de massa van de zon bestaat echter niet. Toch zijn er wel zwarte gaten die zo zwaar zijn. Dit komt doordat de zwarte gaten de hele tijd bezig zijn met materie opslurpen van hun accretieschijf, die ook continu bijgevuld wordt. *[Zie referentiemateriaal nr. 1]*

Een zwart gat zuigt dus de materie om zich heen op. Hierdoor wordt hij zwaarder en zwaarder, en krijgt steeds meer zwaartekracht, waardoor het opzuigen nog sneller gaat. Hier op aarde in de nieuwe LHC deeltjesversneller van CERN bij Genève wil men deeltjes zo hard op elkaar laten botsen dat er een microscopisch zwart gat ontstaat. Zal dit microscopische zwarte gat dan niet doorgroeien en uiteindelijk de aarde opzuigen? Dit is niet aannemelijk om meerdere redenen, maar ik zal er twee noemen. Er van uitgaand dat Steven Hawking's beginselen van de kwantumtheorie kloppen en elk deeltje gepaard gaat met een anti-deeltje (een electron met een positron b.v.), kunnen we iets zeggen over de waar deze deeltjes heen gaan in de buurt van een zwart gat. Eerder vertelde ik dat een zwart gat materie opzuigt, zwaarder wordt, en nog sneller materie opneemt. Andersom is dit precies zo: Als een zwart gat microscopisch klein is dan neemt hij meer anti-materie op dan materie in verhouding. En doordat anti-materie zowel een negatieve lading als negatieve massa heeft, zal het zwarte gat nog lichter worden, en in verhouding nóg meer antimaterie opnemen, totdat het uiteindelijk uitelkaar valt. De tweede reden om aan te nemen dat een microscopisch zwart gat uiteen zal vallen is een stuk simpeler en gebaseerd op het feit dat de aarde al miljarden jaren gebombardeerd wordt door kosmische straling waar deeltjes bij zitten met een energie van 100TeV wat 10 keer meer is dan de 10TeV die de versneller in CERN kan leveren. Toch zijn we nog steeds niet veranderd in een zwart gat. *[Zie referentiemateriaal nr. 5]*

Zwarte gaten ontstaan dus pas wanneer iets héél erg zwaars in elkaar klapt, wat over het algemeen een zware ster is met 3 keer de massa van de zon minimaal.

## Waarnemingen

Er zijn nog steeds veel onbeantwoorde vragen en onzekerheden rondom zwarte gaten. Toch weten we er al vrij veel van door gewoonweg nauwkeurige berekeningen uit te voeren. Met alle formules en computerprogramma's kan men heel veel te weten komen, maar uiteindelijk moet alles toch beginnen met informatie uit waarnemingen. Het probleem van zwarte gaten is dat ze zwart zijn en heel ver weg staan. Het probleem dat zwarte gaten zelf niet te zien zijn, is natuurlijk al verholpen doordat ze zich bevinden in een quasar, die weldegelijk heel veel licht uitzendt. Maar je moet nu wel bedenken dat quasars zich soms op miljarden lichtjaren van ons bevinden. Dit betekent ten eerste, dat de informatie die wij zouden ontvangen miljarden jaren oud is (langer dan de mens bestaat!), maar nog belangrijker, dat het licht een hele hoop wolken van gas en stof moet doorkruisen voordat het de aarde bereikt heeft. Hier verliest het licht zoveel intensiteit dat er bij aarde allang niks meer van over is. Van zichtbaar licht moeten we het duidelijk niet hebben.

De materie in een accretieschijf draait rond het zwarte gat, langzaam naar binnen totdat binnen de horizon valt. Bij dit draaien ontstaat wrijving die zorgt voor een impuls. Deze impuls wordt omgezet in röntgenstraling. Deze straling gaat wél dwars door de stofwolken heen en kunnen we waarnemen. De jets van een quasar zenden radiogolven uit en die kunnen we ook zien. Toch wist men nog steeds niet veel van zwarte gaten, tot de ontdekking van *microquasars*! [Zie referentiemateriaal nr. 3]

Microquasars lijken erg op hun grote broers, maar kunnen met een factor  $10^6$  verschillen in grootte. Ook zijn er al heel wat microquasars gevonden in ons eigen melkwegstelsel! Doordat deze zwarte gaten zo dichtbij staan, is het analyseren stukken makkelijker.

## Massa bepaling

In veel gevallen draait er om het zwarte gat ook een ster. Deze zwarte gaten vormen met de ster dan een dubbelstersysteem die ook wel *röntgendubbelsterren* genoemd worden. Dit is voor ons erg handig want als we met het Dopplereffect de snelheid van de ster kunnen bepalen, is het vervolgens mogelijk om met de wet van Kepler de massa van het zwarte gat te bepalen. Er zijn helaas dingen die dat weer moeilijk maken, en dat heeft te maken met het feit dat je dan ook de massa van de ster moet weten. Het is niet altijd heel gemakkelijk om die nauwkeurig te bepalen.

Gelukkig is er nog een manier. Ik had het net al over de accretieschijf die door wrijving warmte opwekt. Hoe dichterbij het centrum van de schijf, hoe heter de materie is. De temperatuur van de accretieschijf is af te leiden uit de röntgenstraling en met die gegevens kan is het mogelijk de binnendiameter van de schijf te bepalen. Omdat de afstand van het zwarte gat tot de accretieschijf in bepaalde gevallen een vaste afstand heeft, kan je een indicatie krijgen over de straal van het zwarte gat. Uiteindelijk kan je met de formule van de Schwarzschildstraal de massa van het zwarte gat berekenen. Ik vind dit een heel erg omstreden manier, en geloof ook niet dat dit veel toegepast wordt. Een reden dat deze manier zeker niet werkt heeft te maken, met quasars waarvan de binnendiameter constant verandert. Dit heeft te maken met de jets.

## Jets

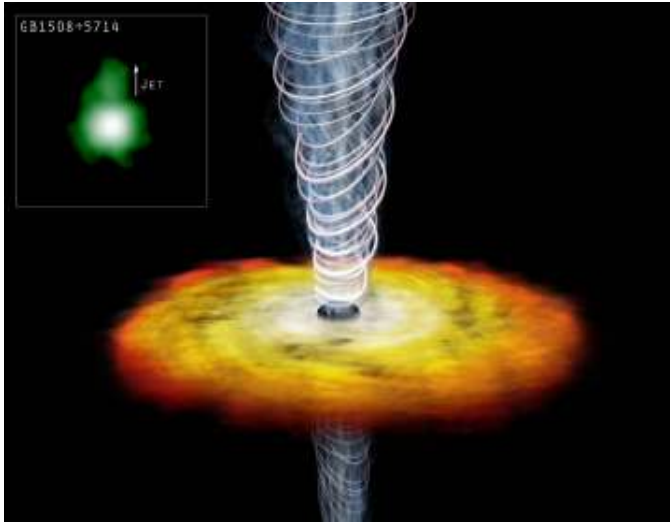
Jets zijn de bundels van materie die met relativistische snelheden – snelheden dicht bij de snelheid van het licht – uit de zwarte gaten worden gestoten. We weten dat wanneer materie binnen de horizon van een gat valt er geen weg meer terug is. Het is dan ook niet werkelijk zo dat de materie uit het zwarte gat komt. Hoe het precies komt dat er weer materie uitgestoten wordt is nog steeds een vraag, maar waar de materie vandaan komt heeft de GRS 1915+105 (benaming van een microquasar in onze melkweg) ons duidelijk gemaakt. Omdat de materie niet uit het zwarte gat komt, is het een logische gedachte dat het uit de accretieschijf moet komen. En dat is ook zo. Wanneer de röntgenstraling afneemt als gevolg van afkoeling van de schijf, wordt er vervolgens een grote hoeveelheid aan radiogolven gemeten als gevolg van jets (zie figuur 2). Het binnenste, warmste, deel van de accretieschijf verdwijnt in slechts paar seconden en even later is die materie terug te vinden in de jets. [Zie referentie materiaal nr. 4]

Soms lijken de jets ook sneller dan het licht te gaan, terwijl Einstein dat als onmogelijk postuleerde. Het is weliswaar zo dat jets mysterieuze en bijzondere evenementen zijn, maar toch kunnen zij in werkelijkheid niet sneller dan het licht. De schijnbare snelheid van een *superluminal motion* die hoger is dan die van het licht is gelukkig te verklaren. (Gebruik figuur 3.) Als een jet uitgestoten wordt onder een hoek  $\alpha$  ten opzichte van de gezichtslijnen vanaf de aarde, met een snelheid  $v$ . Zal het van punt **A** naar **B** in tijd  $T$  de afstand  $vT$  afleggen. Het licht doet er langer over om van punt **A** naar de aarde te komen dan vanaf punt **B**, omdat **B** dichterbij de aarde staat. Het verschil in tijd tussen ontvangst van **A** en **B** is korter dan het uitzenden. Hierdoor kan het lijken als de jet een snelheid van bijna het licht heeft, dat de jet sneller gaat dan het licht. [Zie referentiemateriaal nr. 3]

Zwarte gaten slurpen alles op wat ze tegen komen, en als de aarde in een zwart gat valt, is er niks meer van ons te vinden. Iets wat voorlopig nog niet moet, en gelukkig ook niet zal gebeuren. Toch is de informatie over deze objecten zeer interessant, en hebben de studies van de laatste jaren veel voort gebracht in de sterrenkunde, maar ook in de fundamentele natuurkunde. Ook blijven er nog vragen onbeantwoord, en is er nog veel te leren.

*J.T.D. Oen*

Bronnen:

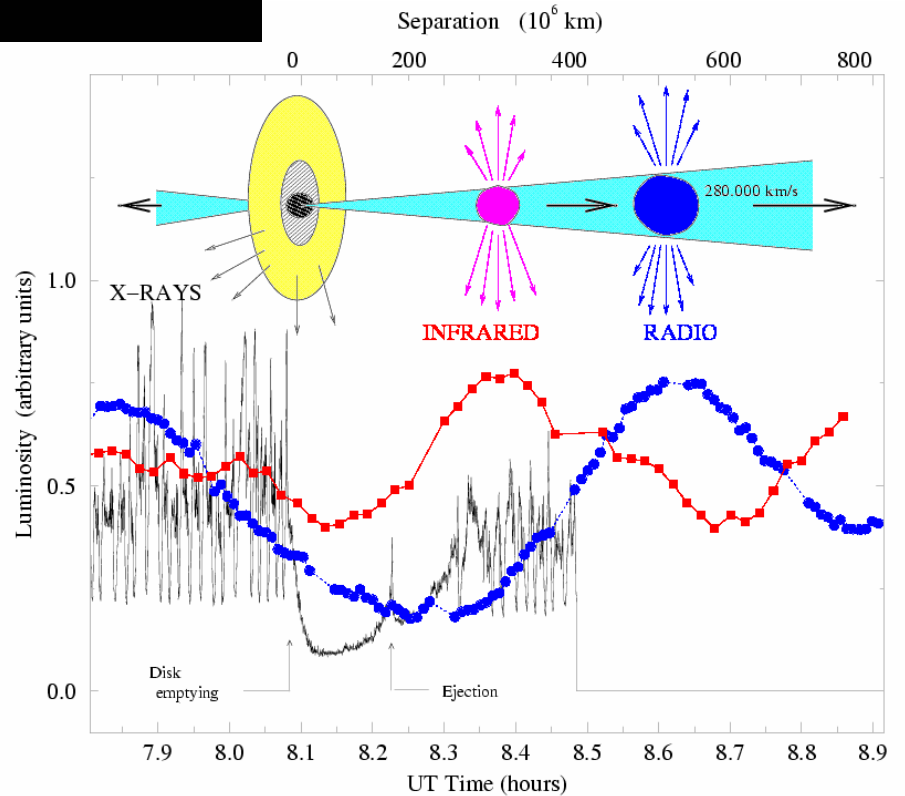


**Figuur 1:**

Een artistieke illustratie van de quasar GB 1508+5714. Midden in het zwarte gat, met daar omheen de accretieschijf(oranje) en loodrecht daarop de uitspuwende jets(blauw).

**Figuur 2:**

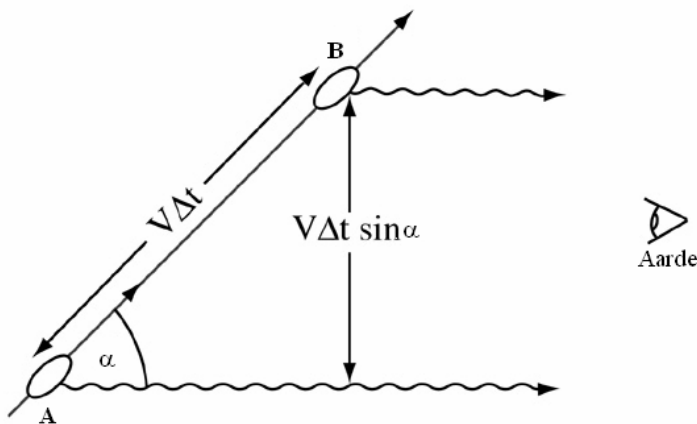
Accretieschijf geeft röntgenstraling(x-ray), maar net voordat er een jet uitgezonden wordt, die radiostraling uitzendt, is er een dip in de röntgenstraling intensiteit.



**Figuur 3:**

Superluminal motion.

Door de hoek  $\alpha$  kan het lijken alsof de jet sneller gaat dan het licht.



**Referentiemateriaal:**

1. Unmasking Black Holes – J.-P. Lasota, Scientific American, Mei 1999
2. Massive Black Holes – H. Ford & Z.I. Tsvetanov, Sky&Telescope, Juni 1996
3. Microquasars – L. Rodriguez & F. Mirabel, Sky&Telescope, Mei 2002
4. GRS 1915+105 – R. Fender & T. Belloni, N&T, Mei 2000
5. Zwarte gaten uit het lab – E. van Eijk, N&T, Maart 2005
6. Zwarte gaten, N&T, Maart 2000
7. Sterrenkunde 1 Syllabus – M. van der Klis, Augustus 2006
8. Nieuwsartikelen van N&T. [www.natutech.nl](http://www.natutech.nl)