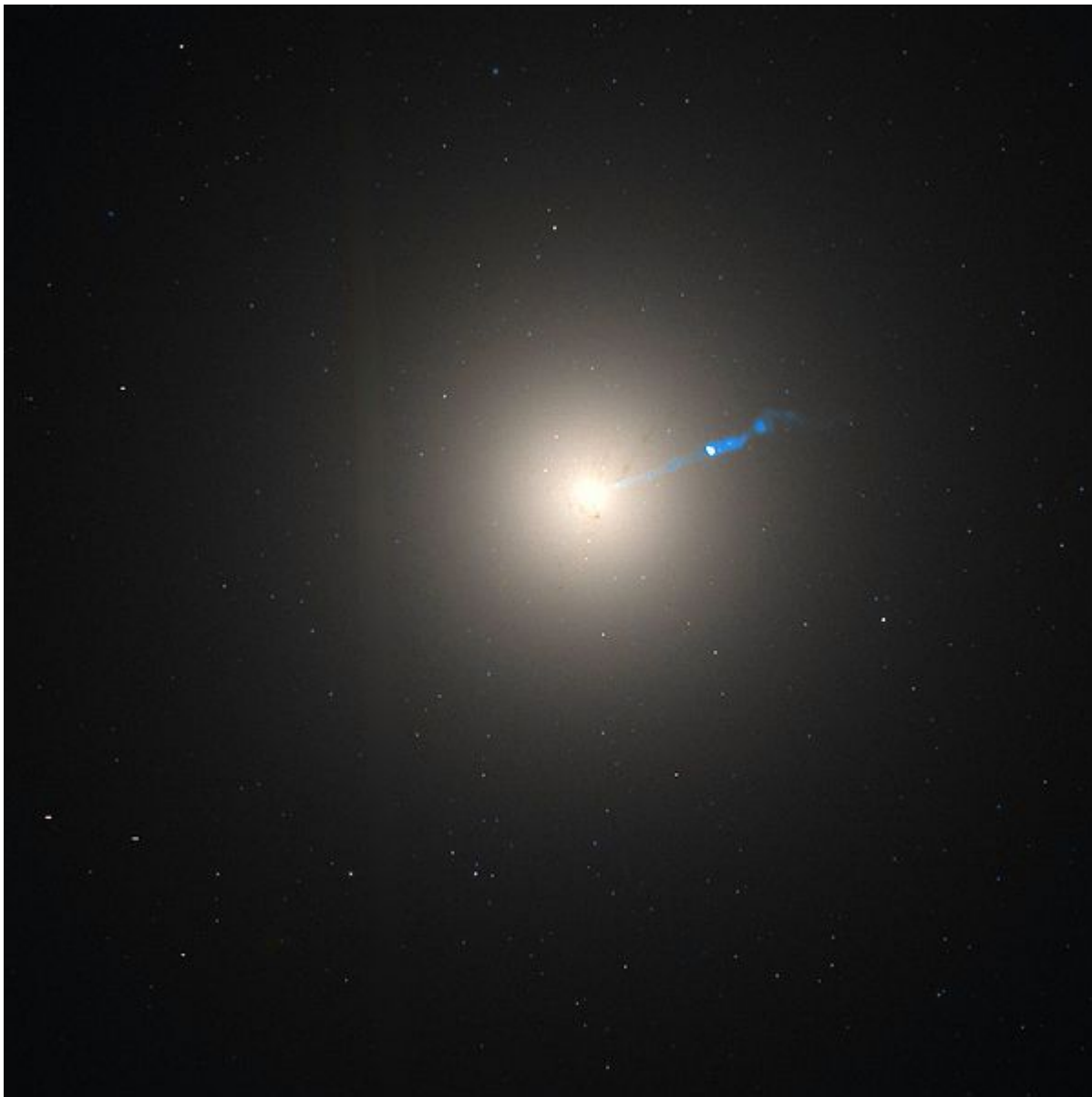


Supermassieve zwarte gaten uit de vroege kosmos

Zwarte gaten bestaan in alle soorten en maten: jong en oud, groot en klein. De combinatie “jong” en “groot” is echter problematisch, want hoe kunnen zwarte gaten in korte tijd zo enorm snel groeien? Michiel Rollier dook in de wereld van de superzware oer-zwarte gaten.



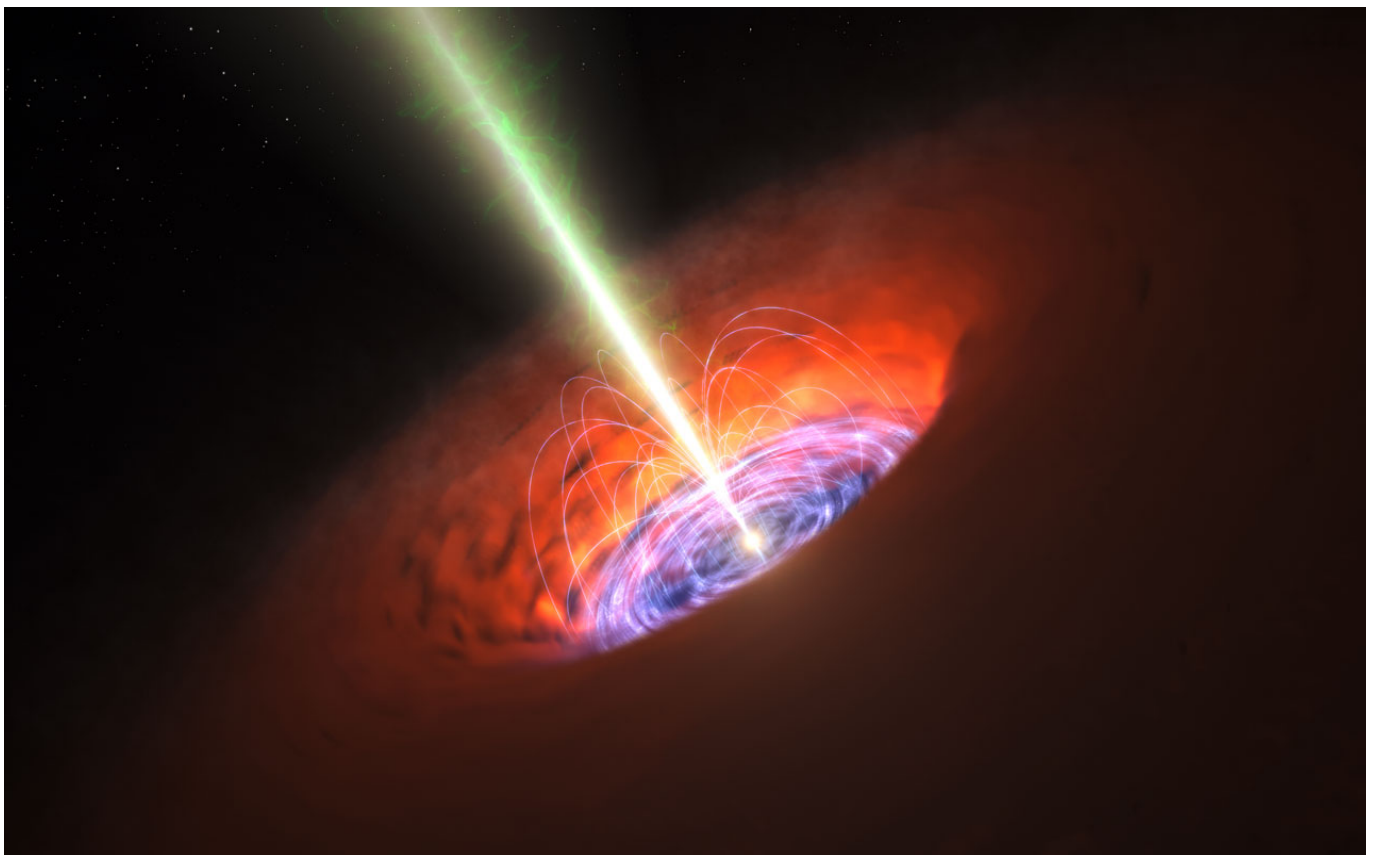
Afbeelding 1. Messier 87 door de lens van ruimtetelescoop Hubble. In het centrum van dit sterrenstelsel, zo'n 50 miljoen lichtjaar verwijderd van de aarde, bevindt zich een zwart gat met een massa van ongeveer zes miljard zonnen. Dat wisten we al door naar de indirecte data te kijken: de blauwe plasmajet in de afbeelding getuigt van een supermassief zwart gat in het centrum. Door de directe foto genomen door de Event Horizon Telescope (een wereldwijd netwerk van radiotelescopen) werd dit vermoeden bevestigd. Afbeelding: [NASA](#).

Over de fascinerende wereld van zwarte gaten is op deze website al het nodige geschreven. Je weet wellicht dat zwarte gaten ontstaan wanneer de zwaartekracht al het andere overwint en er geen enkel bekend fysisch fenomeen het imploderen van stellaire restanten nog kan tegenhouden. Wanneer, met andere woorden, een grote hoeveelheid massa genadeloos naar een singulariteit toe racet. Je weet misschien zelfs dat zwarte gaten slechts enkele belangrijke eigenschappen hebben die het object volledig beschrijven: een rotatie (spin), mogelijk lading zoals een elektrische lading, en verder een totale massa. Wetenschappers zijn zich al geruime tijd bewust van het bestaan van zwarte gaten met een massa van soms wel een miljard zonnen, die heel toepasselijk "supermassief" genoemd worden. Die mastodonten zijn de drijvende kracht achter extreem energetische sterrenkundige objecten die quasars genoemd worden. Ondertussen bijna een jaar geleden werd zo'n supermassief zwart gat, niet in een quasar maar in een "gewoon" sterrenstelsel, voor het eerst gefotografeerd met de [Event Horizon Telescope](#). Het zwarte gat in kwestie heeft een massa van ongeveer zes miljard zonnen, en is te vinden in het centrum van sterrenstelsel Messier 87 (afbeelding 1),

Veel details over het ontstaan van supermassieve zwarte gaten zijn nog onduidelijk. Bij de meest voor de hand liggende modellen "voedt" een massief zwart gat in het centrum van een sterrenstelsel zich met sterren en kleinere zwarte gaten, waarvan er daar ook veel zijn te vinden. Elk object dat het zwart gat opslokt, vergroot zijn totale massa. Over periodes van miljarden jaren is het dan zeker mogelijk dat die zwarte gaten langzaam maar zeker uitgroeien tot de reuzen die we vandaag in de nabije kosmos waarnemen. Er is evenwel een belangrijk openstaand probleem in de astronomie. Bewijs voor supermassieve zwarte gaten zien we namelijk niet enkel bij ons in de buurt, zoals in M87, maar ook op tientallen miljarden lichtjaren afstand. Omwille van de eindige snelheid van het licht, betekent dat dat die verre supermassieve zwarte gaten heel lang geleden, en dus al heel snel na de oerknal ontstaan

zijn. Er zijn zelfs [röntgenwaarnemingen](#) bekend van zulke objecten met een roodverschuiving van $z = 7$, wat kosmologische taal is voor “minder dan een miljard jaar na de oerknal”. Een miljard jaar is volgens gevestigde modellen véél te weinig tijd om zo gigantisch groot te worden, maar toch zien we ook op die afstand zulke giganten! De theoretici zitten met andere woorden met een probleem: hoe zijn die allereerste gaten toch zo snel gegroeid?

De eerste stellaire zwarte gaten zijn waarschijnlijk iets meer dan honderd miljoen jaar na de oerknal ontstaan. Deze zwarte gaten, met een oorspronkelijke massa in de orde van honderd zonsmassa's, hebben minstens tien miljard jaar nodig om op de bekende manier te groeien tot ze supermassief zijn (afbeelding 2). Die tijdsduur wordt de Eddingtontijd genoemd, maar om de waarnemingen van supermassieve zwarte gaten op hoge roodverschuiving te verklaren, moeten er snellere groeiprocessen gespeeld hebben die astronomen als “super-Eddington” classificeren.



Afbeelding 2. Artistieke impressie van een supermassief zwart gat omringd door een accretieschijf. Een manier waarop een zwart gat kan groeien is door zogenaamde accretie: het opnemen van materie die in een grote schijf rond het zwart gat circuleert, energie verliest, en uiteindelijk als gevolg van de zwaartekracht naar de centrale singulariteit toe gaat. De snelheid van dit groeiproces wordt begrensd door de zogenaamde Eddington-limiet, wat inhoudt dat het erg onwaarschijnlijk is dat een zwart gat via dit mechanisme in minder dan een miljard jaar tijd kan groeien tot een supermassieve variant. Afbeelding: [ESO](#).

Een alternatieve manier om naar de vorming van vroege supermassieve gaten te kijken, heet “directe instorting”, of “direct collapse” in het Engels. Zwarte gaten die ontstaan als gevolg van directe instorting, zijn niét het resultaat van een supernova van een van de eerste sterren. In plaats daarvan wordt dit type zwart gat geboren in een enorme wolk van onaangeroerd kosmisch gas, en staan de omstandigheden van deze geboorte een snelle verdere groei toe. Deze mogelijkheid werd in detail onderzocht door onder meer de Britse kosmoloog Martin Rees (afbeelding 3), die ook grote bekendheid heeft verworven als auteur van populairwetenschappelijke boeken over zijn intrigerend vakdomein.



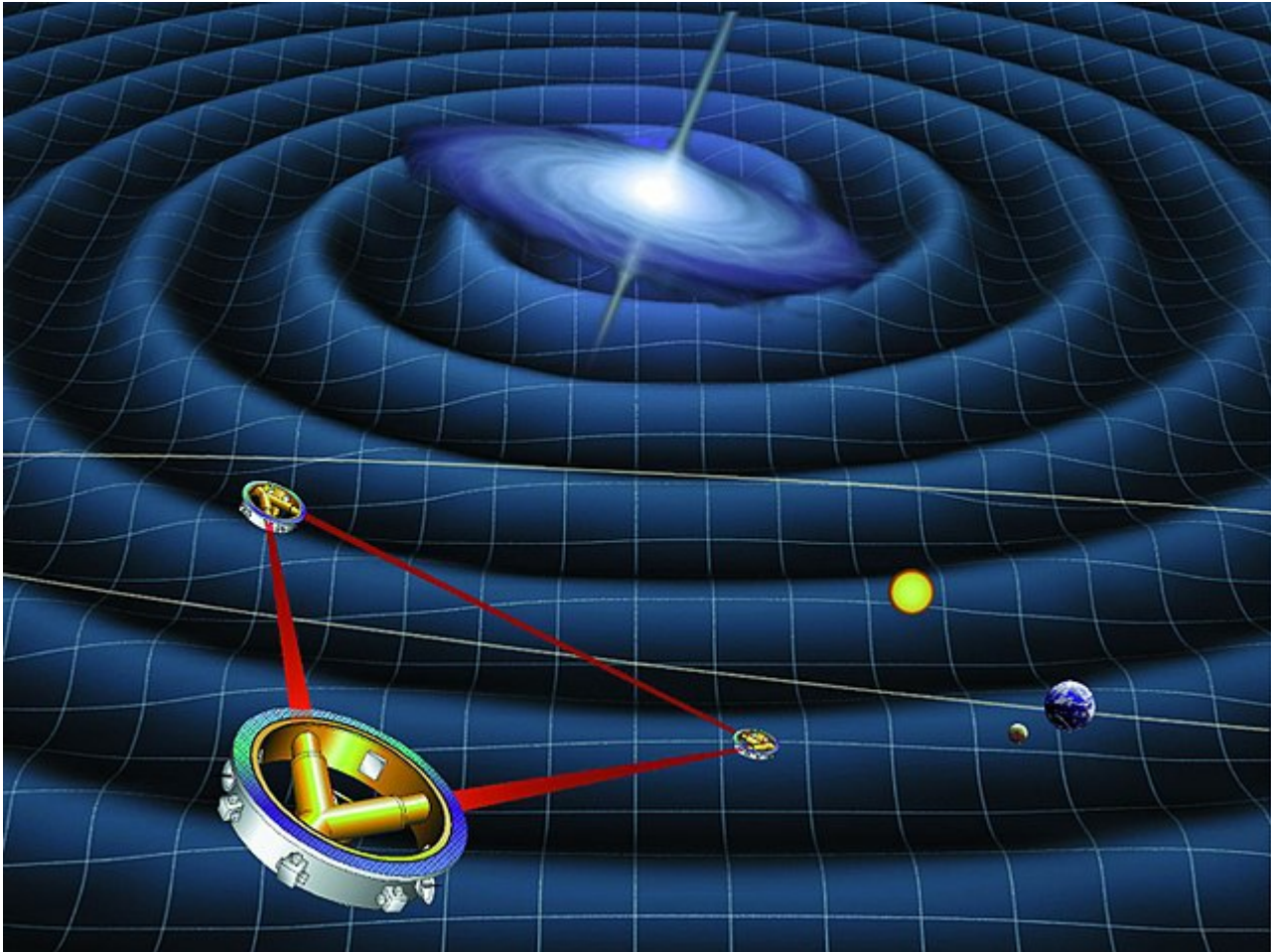
Afbeelding 3. Martin Rees. Het scenario voor zwarte gaten afkomstig van directe instorting van donkere materie en gaswolken is uitvoerig onderzocht door kosmoloog Martin Rees, auteur van onder meer *Just Six Numbers* en *Gravity's Fatal Attraction*. Afbeelding: [Parlement van het VK](#).

Directe instorting vindt dus plaats in een enorme wolk van primordiaal gas (waterstof en helium) in een halo van donkere materie: iets wat we samen een “protosterrenstelsel” noemen. Zoals alle massa dat doet, oefenen het gas en de donkere materie een naar het centrum gerichte zwaartekracht uit op zichzelf en op elkaar. Onder de voorwaarde dat het gas niet te snel rond het centrale punt aan het draaien is – de voorwaarde dus dat het **behouden impulsmoment** niet te hoog is – kan het op zichzelf instorten en op een efficiënte manier warmte verliezen zonder daarbij aan stervorming te doen. Vanaf het moment dat een voldoende hoge concentratie bereikt is in het centrum, stort het geheel in op zichzelf om een zwart gat te vormen van typisch een paar keer de massa van de zon, wat al kan gebeuren in minder dan honderd miljoen jaar. De overblijvende wolk waarin het jonge zwarte gat zich bevindt is de perfecte voedingsbron om binnen de kortste keren, met een super-Eddingtonsnelheid, supermassieve proporties aan te nemen, en dat allemaal zonder de omweg via een supernova te nemen.

Hoewel deze theorie een goede oplossing kan bieden voor het gestelde probleem, is de voorwaarde voor een laag impulsmoment van het gas wel een strikte en vervelende eis. Vanwege deze eis lijken de berekeningen en simulaties te suggereren dat “direct collapse black holes” een verklaring kunnen zijn voor de waargenomen oude supermassieve zwarte gaten, maar is het onwaarschijnlijk dat het de *enige* verklaring is – er zouden eenvoudigweg niet voldoende langzaam draaiende gaswolken in het vroege heelal geweest zijn.

Hopelijk kunnen we binnenkort onderscheid maken tussen verschillende vormingsmechanismen en -geschiedenissen van deze fascinerende objecten. Een belangrijk kandidaat-experiment voor het maken van zo’n onderscheid is zonder twijfel LISA, de interferometer die in de jaren 2030 de ruimte in gelanceerd zal worden en die gevoelig is voor zwaartekrachtgolven geassocieerd aan bijvoorbeeld het opslokken van “kleine” zwarte gaten door hun supermassieve broers. LISA is natuurlijk nog wel een decennium weg; in de tussentijd moeten we de theorie verder verfijnen, en zoals vaak beroep doen op simulaties

om de bizarre astronomische waarnemen te verklaren.



Afbeelding 4. LISA. De Laser Interferometer Space Antenna is een interferometrische detector van zwaartekrachtgolven met frequenties tussen de 0,1 en 10 mHz. Het is mogelijk dat verschillende vormingsmechanismen van supermassieve zwarte gaten detecteerbaar en onderscheidbaar zullen zijn met dit instrument. Bovendien zal met LISA zeker het groeiproces zichtbaar zijn: wanneer een supermassief zwart gat zich voedt met een stellair zwart gat – zogeheten “extreme mass-ratio inspirals”. Afbeelding: [NASA](#).