Inhoud

De Oerknal 4
Het dynamische vs. het statische heelal 8
De oerknal/big bang 9
Neutronensteren 13
1. Hoe ontstaat een neutronenster? 13
2. Wat is het verschil tussen een pulsar en neutronenster? 13
3. Wat is het verschil tussen een neutronenster en zwart gat? 14
4. Hoe zwaar is een neutronenster? 14
5. Hoe snel draait een neutronenster? 14
BOAT, de helderste gammastraaluitbarsting ooit 15
Er zit geen goud en platina in BOAT: het mysterie duurt voort 17
Gammastraaluitbarsting: de oorsprong 18
Superzware zwarte gaten mogelijk kwekerij van min-gaatjes 19
Botsingen 19
Lopende band 20
Waarnemingen 20
Mogelijk zijn aanwijzingen gevonden voor de allereerste sterren in het heelal 21
Leven vormde het Heelal. 24
Puinhoop in het heelal neemt toe 24
1. Reactiemogelijkheden creëren wanorde 24
2. Het jonge heelal is nog ordelijk 25
3. Elementen maken er een potje van 26
Stoommachines creëren chaos 26
De wetten van de thermodynamica 27
Leven haalt donkere energie in 28
Het leven schept de grootste chaos in het heelal 29
1. Zwarte gaten rommelen wat aan 29
2. Donkere energie vergroot de chaos 30
3. Leven gaat alle grenzen te buiten 31
Nieuwe wet regeert de biologie 31
Leven breidde het heelal uit 32
Waar is de rest van het heelal? 33
Nieuwe manier bedacht om de eerste sterren in het heelal te detecteren 34
Astronomen spotten de allereerste sterrenstelsels-in-wording: 13,4 miljard jaar geleden geboren 36
Gaswolken doemen op in infrarood 37

Quantum-tijdpijl wijst erop dat er in het vroege heelal geen verstrengeling was 38
Wanorde 38
Wat betekent ‘sindsdien’? 38
Objectiever 39
Warmtedood 39
Virgo en LIGO detecteren signaal van een middelzwaar zwart gat 41
James Webb-telescoop ziet oudste sterrenstelsel ooit: 13,5 miljard jaar oud 43
Ruimtetelescoop Webb: het leven begon veel eerder dan gedacht 44
De materieschijven rond zwarte gaten zijn veel ‘luchtiger’ dan gedacht 45
Meer duidelijkheid over hoe superzware zwarte gaten zo superzwaar 46
zijn geworden 46
Een enorme botsing in aantocht tussen de Melkweg en een ander sterrenstelsel? 49
Indicaties van een recente kosmische botsing 49
Een onverwacht hoofdstuk in de geschiedenis van de Melkweg 49
Het cruciale belang van de Gaia-missie 49
Superzware zwarte gaten zijn ‘groot geboren’ 50
‘Voedingsmechanisme’ 51
Kugelblitz 51
Schwingereffect 51
Oergaten 52
Kan zwaartekracht bestaan zonder massa? 53
Donkere materie 53
Negatieve massa 53
Schillen 53
Rode-stip sterrenstelsels leggen een bom onder kosmische theorieen 54
Veel te fel 55
Honderd keer te groot 55
Puzzelstukjes 56
Zwarte gaten houden sterrenstelsels in leven 56
Deze stralen uit een zwart gat zijn zo groot dat je er 140 Melkwegstelsels op een rij naast elkaar zou kunnen leggen 58
10.000 jets 58
7,5 miljard lichtjaar ver 58
Nog veel vragen over de impact van megajets 59
Het duistere hart van de zon 59
Van binnenuit 60
Sterbevingen 60
Tijdrovende simulaties 60
Astronomen ontdekken link tussen superzwaar zwart gat en donkere materie. En lossen daarmee het ‘final parsec-probleem’ op 61

Het final parsec-probleem ... 61
Donkere materie ... 61
Toch een samensmelting ... 62
Kijkje in de aard van donkere materie ... 62
Poolster is zwaarder dan gedacht ... 63
Dit sterrenstelsel blaast ‘kolossale fonteinen’ de ruimte in ... 64
Sterrenkundigen verklaren hoe organische macromoleculen gevormd worden ... 65
Combinatie van stofval en straling ... 66
Een ster in een vat: ultieme energiebron, maar hoe voorkomen we dat het vat smelt? ... 68
Hoe werkt kernfusie? ... 68
Extreem hoge temperaturen ... 69
Het probleem van de warmteafvoer ... 70
Rol van computermodellen ... 71
Blijft kernfusie voor elektriciteitsproductie voor eeuwig toekomstmuziek? ... 72
De kern van sterrenstelsel Messier 106 ontleed ... 73
Een van de grootste paradoxen van het heelal is mogelijk opgelost ... 76
Twee methoden ... 77
Tien sterrenstelsels gemeten ... 78
Astronomen publiceren meest gedetailleerde infraroodkaart van de Melkweg: “We komen steeds dichter bij het begin van ons universum” ... 80
Hypersnelle sterren ... 82
Ruimtetelescoop James Webb ontdekt ‘vreemd’ sterrenstelsel dat inzicht verschaft in de jonge jaren van het universum ... 84
Sterrenstelsel 9422 ... 84
Computermodellen ... 84
Populatie III-sterren ... 85
Meer over de Populatie III-sterren ... 85

De Oerknal

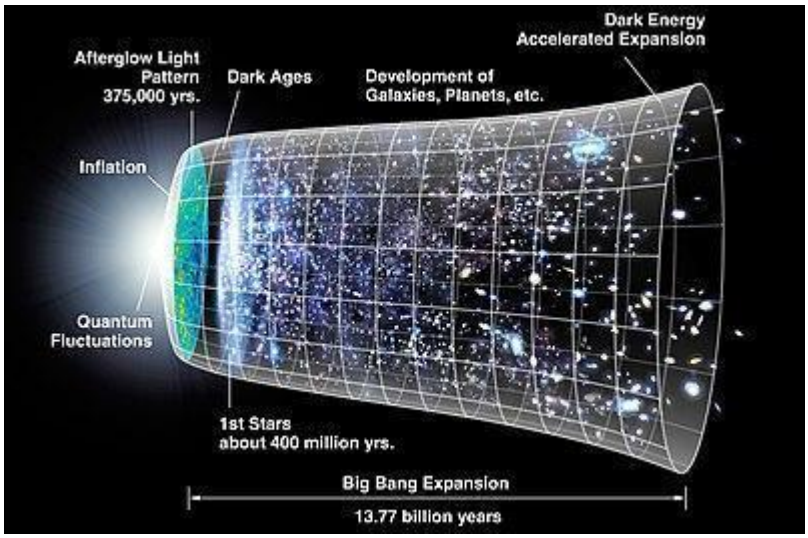
Hoewel we het niet zeker weten, gaan we ervan uit dat het heelal ongeveer 13,8 miljard jaar geleden is ontstaan uit een zogenoemde singulariteit, een heel heet punt met een bijna oneindige dichtheid. Deze singulariteit voldeed niet aan de bekende natuurwetten en ruimte en tijd bestonden er niet.

Een singulariteit is in de kosmologie een punt met een oneindig klein volume en een oneindig grote dichtheid. De ruimtetijd is hier zó sterk gekromd, dat ruimte en tijd feitelijk ophouden te bestaan. Dit heeft onder meer tot gevolg dat ook de in de gewone natuurkunde geldende wetten in een singulariteit niet meer geldig zijn. Wellicht vinden er in of in de buurt van een singulariteit allerlei processen plaats die in de huidige exacte wetenschap nog onbekend zijn.

Volgens de oerknaltheorie is het hele heelal ontstaan uit een zeer klein punt, dat in de buurt van een singulariteit kwam. Een echte singulariteit was dit echter vermoedelijk niet.

De algemene relativiteitstheorie veronderstelt verder voor het huidige heelal minstens twee soorten singulariteiten: het centrum van een zwart gat en zogeheten naakte singulariteiten, dat wil zeggen de zichtbare tegenhangers van zwarte gaten (zonder gebeurtenissenhorizon). Van het bestaan van dit laatste verschijnsel is men niet geheel overtuigd, maar er zijn sterke aanwijzingen dat er behalve zwarte gaten inderdaad ook naakte singulariteiten bestaan.

Tijdlijn



Ontwikkelingsstadia van het universum. Tijd staat op de horizontale as.

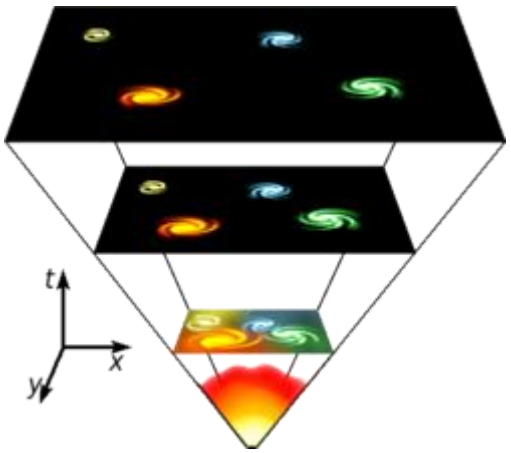
Extrapolatie van de uitbreiding van het universum terug in de tijd met behulp van de algemene relativiteitstheorie leidt tot een oneindige dichtheid en temperatuur op een eindig punt in het verleden. Deze singulariteit is strijdig met de algemene relativiteitstheorie. Er wordt veel gediscussieerd over tot hoe dicht we bij de singulariteit kunnen extrapoleren, maar zeker niet dichterbij dan het einde van het planck-tijdperk, ongeveer 10−43 seconde na het ontstaan van het universum (plancktijd). Deze singulariteit wordt soms de "big bang" genoemd, maar de term kan ook verwijzen naar de vroege hete, dichte fase zelf, die kan worden gezien als de "geboorte" van het universum. Gebaseerd op metingen van de uitbreiding van Type Ia-supernova's, metingen van temperatuurfluctuaties in de kosmische achtergrondstraling en metingen van de correlatiefunctie van sterrenstelsels, heeft het universum een berekende leeftijd van 13,772 ± 0,059 miljard jaar. De overeenkomst van deze drie onafhankelijke metingen moedigt sterk het standaardmodel van de oerknal (Lambda-CDM-model, Lambda-Cold Dark Matter-model) aan dat in detail de inhoud van het universum beschrijft. In 2013 corrigeerden nieuwe data van de ruimtetelescoop Planck deze leeftijd tot 13,798 ± 0,037 miljard jaar.

De eerste fasen van de oerknal zijn onderwerp van vele speculaties. In de meest voorkomende modellen was het universum gevuld met een enorm hoge energiedichtheid en enorme temperaturen en druk. Het was isotroop gevuld met homogene reacties. Het breidde zich erg snel uit en koelde snel af. Ongeveer 10−37 seconde in de uitbreiding, veroorzaakte een faseovergang een kosmische inflatie, waarbij het universum exponentieel groeide. Nadat de inflatie ophield, bestond het universum uit zowel quark-gluonplasma als andere elementaire deeltjes. De temperaturen waren zo hoog dat de willekeurige bewegingen van deeltjes een relativistische snelheid bereikten, en deeltje-antideeltjeparen van allerlei soorten deeltjes continu werden gemaakt en vernietigd in botsingen. Op een bepaald

moment kwam er een onbekende reactie genaamd baryogenese, die een asymmetrie veroorzaakte in het baryongetal, wat leidde tot een kleine overmaat van quarks en leptonen tegenover antiquarks en antileptonen - geordend als 1 overmatig deeltje per 30 miljoen. Dit leidde tot de dominantie van materie over antimaterie in het huidige universum.

Vervolgens veroorzaakten de afnemende temperatuur en afnemende dichtheid een verbreking van symmetrie, waardoor via faseovergangen de fundamentele natuurkrachten en de parameters van elementaire deeltjes hun huidige vorm aannamen. Na 10−11 seconde zijn de gebeurtenissen minder speculatief, omdat de omstandigheden kunnen worden nagebootst in experimenten met deeltjesversnellers. Na ongeveer 10−6 seconde combineerden quarks en gluonen zich om baryonen te vormen zoals protonen en neutronen. Een kleine overmaat van quarks tegenover antiquarks leidde tot een kleine overmaat van baryonen tegenover antibaryonen. Toen de temperatuur niet langer hoog genoeg was voor het aanmaken van nieuwe proton-antiprotonparen (hetzelfde geldt voor neutronen-antineutronen), volgde er meteen een massa-annihilatie, die slechts 1 op de 1010 van de originele protonen en neutronen overliet, en geen van hun antideeltjes. Een soortgelijk proces vond na ongeveer 1 seconde plaats voor elektronen en positronen. Na deze annihilaties, bewogen de overgebleven protonen, neutronen en elektronen niet meer met een relativistische snelheid en de energiedichtheid van het universum werd gedomineerd door fotonen (met een kleine groep van neutrinos).

Een paar minuten in de uitbreiding, toen de temperatuur ongeveer een miljard kelvin was en de dichtheid ongeveer zo groot was als de aardse atmosfeer op zeeniveau, versmolten neutronen met protonen om deuterium- en helium-atoomkernen te vormen in een proces genaamd oerknal-nucleosynthese. De meeste protonen bleven ongepaard als waterstof-atoomkernen. Naarmate het universum afkoelde, begon de energiedichtheid van de rustmassa van de materie de straling gravitationeel te domineren. Na ongeveer 379.000 jaar bonden de elektronen zich aan de atoomkernen en vormden de eerste atomen (meest waterstof). Als gevolg hiervan werd de ruimte doorzichtig en ontkoppelde de straling zich van materie en ging grotendeels ongehinderd verder door de ruimte. Deze straling staat bekend als de kosmische achtergrondstraling.



De expansie van het universum

Over een lange periode kwam in de zeer egaal verspreide materie, een gravitationeel sneeuwbaleffect op gang door zeer kleine dichtheidsvariaties, en langzaam leidde dit tot de structuren van gaswolken, die verder uitkristalliseerden tot sterren, sterrenstelsels en andere astronomische structuren die we vandaag de dag kunnen observeren. De details van dit proces hebben een relatie met de nog niet begrepen donkere materie. Naast de zichtbare baryonische materie zijn er drie kandidaten voor donkere materie: koude donkere materie, warme donkere materie en hete donkere materie. De beste metingen beschikbaar (van WMAP) laten zien dat de data goed passen in de theorie van een Lambda-CDM-model waarin er wordt verondersteld dat donkere materie koud is (warme donkere materie wordt uitgesloten door vroege reionisatie), en er wordt geschat dat de materie/energie in het universum voor zo'n 23% hieruit bestaat, terwijl dit bij baryonische materie maar 4,6% is. In een "uitgebreid model" dat hete donkere materie bevat in de vorm van neutrino's, wordt de "natuurkundige baryondichtheid" Ωbh2 geschat op ongeveer 0,023 (dit is anders dan de 'baryondichtheid' Ωb uitgedrukt als een fractie van de totale materie-/energiedichtheid, zoals boven beschreven 0,046), en de toebehorende koude donkere materie dichtheid Ωch2 is ongeveer 0,11, de toebehorende neutrinodichtheid Ωvh2 wordt geschat op minder dan 0,0062.

Onafhankelijke lijnen van bewijzen van Type Ia-supernova's en de kosmische achtergrondstraling impliceren dat het universum van vandaag wordt gedomineerd door een mysterieuze vorm van energie, die bekendstaat als donkere energie, die waarschijnlijk heel de ruimte doordringt. Observaties suggereren dat 74% van de totale energiedichtheid van het hedendaagse universum in deze vorm voorkomt. Toen het universum erg jong was, was het mogelijk doordrenkt met donkere energie, maar met minder ruimte en alles dichter op elkaar, had de zwaartekracht de overhand, en brak het langzaam de uitbreiding af. Maar uiteindelijk, na tal van miljarden jaren van uitbreiding, veroorzaakte de groeiende overvloed van donkere energie de uitbreiding van het universum om langzaamaan te versnellen. Donkere energie in zijn simpelste formulering neemt de vorm aan van de kosmologische constante term in Einsteins vergelijkingen van algemene relativiteit, maar zijn samenstelling en mechanisme zijn onbekend en, meer algemeen, de details van zijn toestandsvergelijking (kosmologie) en relatie met het standaardmodel van de deeltjesfysica blijven continu onderzocht worden, zowel door observaties als theoretisch.

De hele kosmische evolutie na het inflatietijdperk kan strikt genomen worden beschreven door het Lambda-CDM-model, dat de onafhankelijke kaders van kwantummechanica en Einsteins algemene relativiteit gebruikt. Zoals boven wordt beschreven, bestaat er geen goed onderbouwd model dat de gebeurtenissen beschrijft tot ongeveer 10−15 seconde. Klaarblijkelijk is er een nieuwe verenigde theorie van kwantumzwaartekracht nodig om deze barrière te doorbreken. Het begrijpen van deze vroege fasen in de geschiedenis van het universum is momenteel een van de grootste onopgeloste problemen in de natuurkunde.

Na de Big Bang ontstonden ruimte en tijd en begon de uitdijing van het heelal en daar zitten we nu nog middenin. In die begintijd van het universum was het pikdonker. Pas na zo’n 200 miljoen jaar begonnen de eerste sterren zich te vormen. Deze eerste generatiesterren worden Populatie III-sterren genoemd. Ze ontsproten uit oerwolken van waterstof en helium met sporen van lithium. Al na een paar miljoen

jaar ontploften ze en werden supernova’s. Alle zwaardere chemische elementen, zoals stikstof, koolstof, zuurstof en ijzer, zijn in de kern van deze en latere sterren gevormd. Pas in 2015 vond de Very Large Telescope van ESA bewijs voor het bestaan van deze oersterren, waarvoor tot dan toe enkel theoretische argumenten bestonden.

Het koelen van het universum:

Naarmate het universum zich uitbreidde, begon het ook te koelen. De intense hitte van de oerknal nam af, waardoor de eerste deeltjes van materie konden vormen. Deze deeltjes, deeltjes van waterstof en helium, waren de eerste noten in de kosmische symfonie.

De geboorte van sterren en sterrenstelsels:

Door de aantrekkingskracht van de zwaartekracht, begonnen de deeltjes van waterstof en helium zich te verzamelen. Zo ontstonden de eerste sterren en sterrenstelsels, die als glinsterende sterrenbeelden de melodie van het universum versierden.

Evolutie en complexiteit:

In de loop van miljarden jaren, evolueerden sterren en sterrenstelsels. Planeten werden gevormd, en op sommige van deze planeten ontstond leven. De kosmische symfonie werd steeds complexer.

De toekomst van het universum:

Het universum is nog steeds in expansie, en de toekomst is onzeker.

Voorgeschiedenis

Het dynamische vs. het statische heelal

Voordat de theorie van de big bang werd geformuleerd, ging men uit van een statisch heelal: een heelal dat er altijd al was en altijd zal zijn. Uit de zwaartekrachtwet van Newton volgt echter dat zo'n heelal zou instorten. Newton onderkende dat probleem, maar poogde dat in een briefwisseling met Richard Bentley te redden door te stellen dat, als de materie gelijkmatig in een oneindige ruimte verdeeld was, er geen middelpunt zou zijn waar de materie naartoe zou vallen.

Zelfs als de rol van de zwaartekracht op deze of andere manieren kan worden geweerd, is er nog een ander fundamenteel probleem met het statische heelal. Als het heelal namelijk oneindig groot is, en statistisch uniform bezaaid met sterren (of sterrenstelsels, of groepen van sterrenstelsels) waarvan de dichtheid niet systematisch evolueert, dan moet de achtergrond van de sterrenhemel dezelfde helderheid bezitten als het oppervlak van de zon. We zien echter dat de hemelachtergrond donker is, of in elk geval beduidend minder helder dan het oppervlak van de zon: dit is de paradox van Olbers. Hieruit volgt logisch dat het heelal niet tegelijkertijd oneindig groot en zowel ruimtelijk als tijdelijk uniform kan zijn. Een argument van Kelvin om de paradox te ontkrachten aan de hand van interstellaire absorptie door kosmisch stof loopt vast op overwegingen in verband met stralingsevenwicht.[3]

Einstein ging ook uit van een statisch heelal, maar uit zijn algemene relativiteitstheorie bleek onomstotelijk dat het heelal moest uitdijen of ineenstorten. Hij postuleerde toen de kosmologische constante om die ineenstorting tegen te gaan. De Nederlandse astronoom Willem de Sitter kwam met een ander model van het heelal en voorspelde in 1918 aan de hand daarvan een roodverschuiving die evenredig was met de afstand. Het theoretisch model van De Sitter bevatte geen materie, maar dijde wel uit. Het idee van De Sitter is tegenwoordig weer actueel in de inflatietheorie van de oerknal. Onafhankelijk van De Sitter vond Alexander Friedmann oplossingen voor de vergelijkingen van de algemene relativiteit, die een uitdijend heelal beschreven. Voortbordurend op het heelal van De Sitter, publiceerde ook de Belgische rooms-katholiek priester Georges Lemaître oplossingen voor een dynamisch heelal. Men vermoedde dat er vóór de oerknal helemaal niets was, zelfs geen tijd, zodat men niet eens van 'vóór de oerknal' kan spreken.

De eerste die ontdekte dat het licht van sommige sterrenstelsels een roodverschuiving vertoonde, waaruit bleek dat ze van ons af bewogen (het dopplereffect), was William Huggins. Edwin Hubble was echter degene die samen met Milton Humason een rechtlijnig verband tussen de roodverschuiving van verre sterrenstelsels en hun afstand berekende. Dit verband staat thans bekend als de wet van Hubble (met de naar hem vernoemde hubbleconstante).

De oerknal/big bang

Aan het begin van de 20e eeuw begon men met het meten van de spectra van sterrenstelsels. Hierbij merkte men:

- slechts enkele dichtbijgelegen stelsels, zoals de Andromedanevel, hebben een blauwverschuiving en bewegen dus naar ons toe.
- alle andere sterrenstelsels hebben een roodverschuiving.
- de roodverschuiving neemt toe naarmate het stelsel verder weg staat. Deze vaststelling werd door Edwin Hubble beschreven in een artikel dat in 1929 werd gepubliceerd. Met de wet van Hubble-Lemaître kunnen de snelheden berekend worden waarmee sterrenstelsels zich van een aardse waarnemer verwijderen ten gevolge van de uitdijing van het heelal.

Dit was aanleiding voor de hypothese dat er een oerknal is geweest. In het verre verleden hebben de sterrenstelsels dus niet alleen dichter bij elkaar gelegen, maar bovendien is de uitdijing begonnen met een oerknal. Aan het begin van de oerknal was het hele heelal geconcentreerd in een enkel punt met oneindige dichtheid. Dit punt noemt men een singulariteit. De eerste theorie van het heelal dat met een geweldige explosie uit een oeratoom moet zijn ontstaan, werd in 1931 geformuleerd door Lemaître. Lemaître beschreef het ontstaan van het heelal als "een soort kosmisch ei". Hij kwam ook tot een bijna juiste schatting van het moment waarop het heelal zou zijn ontstaan: ongeveer 15 miljard jaar geleden.

Onderzoek met de Wilkinson Microwave Anisotropy Probe heeft de leeftijd van het heelal met een onnauwkeurigheid van 1 procent op 13,7 miljard jaar weten te bepalen.

Hete oerknal

In 1948 werd de hete oerknaltheorie door George Gamow samen met Ralph Alpher geformuleerd. De theorie beschrijft hoe het heelal is ontstaan uit een immens heet en extreem klein puntvormig begin (singulariteit).

De theorie beschrijft verder nauwkeurig welke chemische elementen na 1 seconde, toen het heelal nog een temperatuur had van 10 miljard kelvin, werden gevormd en in welke verhoudingen. De elementen die tijdens de oerknal werden gevormd zijn waterstof, helium en lithium, nauwkeuriger gezegd de isotopen waterstof, deuterium, tritium, helium-3, helium-4 en lithium-7. De theorie voorspelde dat de gewichtsverhouding helium en waterstof 1:3 zou zijn, heel dicht bij de huidige waargenomen samenstelling.

Gamov had een vriend, de natuurkundige Hans Bethe, gevraagd om zijn naam ook aan het artikel te verbinden (hoewel hij hieraan niet had meegewerkt) omdat de namen Alpher, Bethe en Gamov ongeveer hetzelfde klinken als alfa, bèta en gamma, de eerste drie letters van het Griekse alfabet. Sindsdien staat dit artikel dan ook bekend als het Alpher-Bethe-Gamov-artikel of alfa-bèta-gamma-artikel.

Gamov en zijn medewerkers Alpher en Robert Herman voorspelden verder dat de straling van de oerknal nu nog aanwezig zou moeten zijn en een temperatuur zou moeten hebben van ongeveer 3 K. Deze kosmische achtergrondstraling werd door Arno Allan Penzias en Robert Woodrow Wilson in 1964 per ongeluk ontdekt. Penzias en Wilson trachtten in 1964 een nieuwe ontvanger werkklaar te maken, maar werden daarbij gehinderd door een irritante ruis: de kosmische achtergrondstraling. Penzias en Wilson dachten echter dat het aan de vogelpoep in de ontvanger lag en hadden nog volstrekt niet door dat zij de straling hadden gevonden die enkele kilometers verderop aan de Princeton universiteit door Robert Dicke en zijn team met alle mogelijke middelen werd gezocht. In 1964 publiceerde Nature dan ook twee artikelen: een van Penzias en Wilson die de ontdekking beschrijven en een ander artikel van Dicke die de wetenschappelijke relevantie van de ontdekking uiteenzet. Penzias en Wilson ontvingen in 1978 de Nobelprijs voor Natuurkunde voor hun werk aan de achtergrondstraling.

Tegenwoordig wordt algemeen aangenomen dat in het allereerste begin het heelal een korte periode van extreme expansie doormaakte. Deze periode wordt ook wel De Sitterinflatie genoemd. De theorie die dit beschrijft heet de inflatietheorie en werd in 1979 ontwikkeld door Alan Guth en Andrei Linde.

Argumenten

Er zijn vier belangrijke argumenten voor het ontstaan van het heelal uit een oerknal:

- Spectroscopische waarnemingen van sterrenstelsels duiden erop dat het heelal uitdijt. Dit kan alleen verklaard worden als sterrenstelsels oorspronkelijk in één punt zijn ontstaan. De belangrijkste aanwijzing hiervoor is dat hoe verder sterrenstelsels van ons af staan, hoe sneller ze zich van ons verwijderen. De roodverschuiving is de enige indicatie hiervan.
- De kosmische achtergrondstraling die in 1965 door Arno Penzias en Robert Wilson is waargenomen, lijkt van alle kanten te komen. De oerknaltheorie biedt een verklaring voor deze straling.
- Door de oerknaltheorie te combineren met de deeltjesfysica ontstaat de theorie van de oerknal-nucleosynthese: een beschrijving van het mechanisme waarmee eerst protonen en neutronen werden gevormd, en daaruit op hun beurt atoomkernen van de diverse isotopen van waterstof, helium en andere lichte scheikundige elementen. Uit die theorie volgt een voorspelling van de onderlinge verhouding tussen de lichte elementen in de alleroudste sterren (voorafgaand aan de vorming van helium door kernfusie); de voorspelde hoeveelheden komen goed overeen met de waarnemingen.
- Als de materie in het heelal homogeen verspreid zou zijn, dan zou uit de algemene relativiteitstheorie van Einstein een oerknal kunnen worden afgeleid.

Over 100 miljard jaar zullen de huidige pijlers waarop de theorie van de oerknal rust naar verwachting bijna volledig zijn uitgewist. De kosmische achtergrondstraling is dan zodanig afgezwakt dat zij in het geheel niet meer waarneembaar is. Ook de uitdijing van het heelal zal dan niet langer waarneembaar zijn, doordat alle sterrenstelsels achter de waarnemingshorizon zijn verdwenen en de intergalactische ruimte dus nagenoeg leeg is. De materie in het heelal lijkt hierdoor ook niet meer homogeen verspreid, waardoor een oerknal niet meer kan worden gededuceerd uit een herontdekte relativiteitstheorie. Tevens is de verhouding tussen de verschillende elementen zodanig veranderd dat zij niet veel meer weg heeft van die tijdens de oerknal en in de huidige situatie.

Fundamentele problemen

Hoewel de theorie van de oerknal sinds de ontdekking van de kosmische achtergrondstraling door veel kosmologen aanvaard werd als de theorie die de beste verklaringen geeft over het ontstaan en de evolutie van het heelal, waren er toch een

paar belangrijke vraagstukken waar de theorie geen antwoord op kon geven. Die problemen waren:

- het horizonprobleem,
- het vlakheidsprobleem,
- het monopoolprobleem.

De inflatietheorie van Alan Guth en Andrei Linde kon hier in de jaren tachtig een antwoord op geven. Dit is dan ook een aanvulling op de theorie van de oerknal, en niet een volkomen onafhankelijk alternatief. Verder is het idee van een oneindig grote dichtheid in strijd met de kwantummechanica.

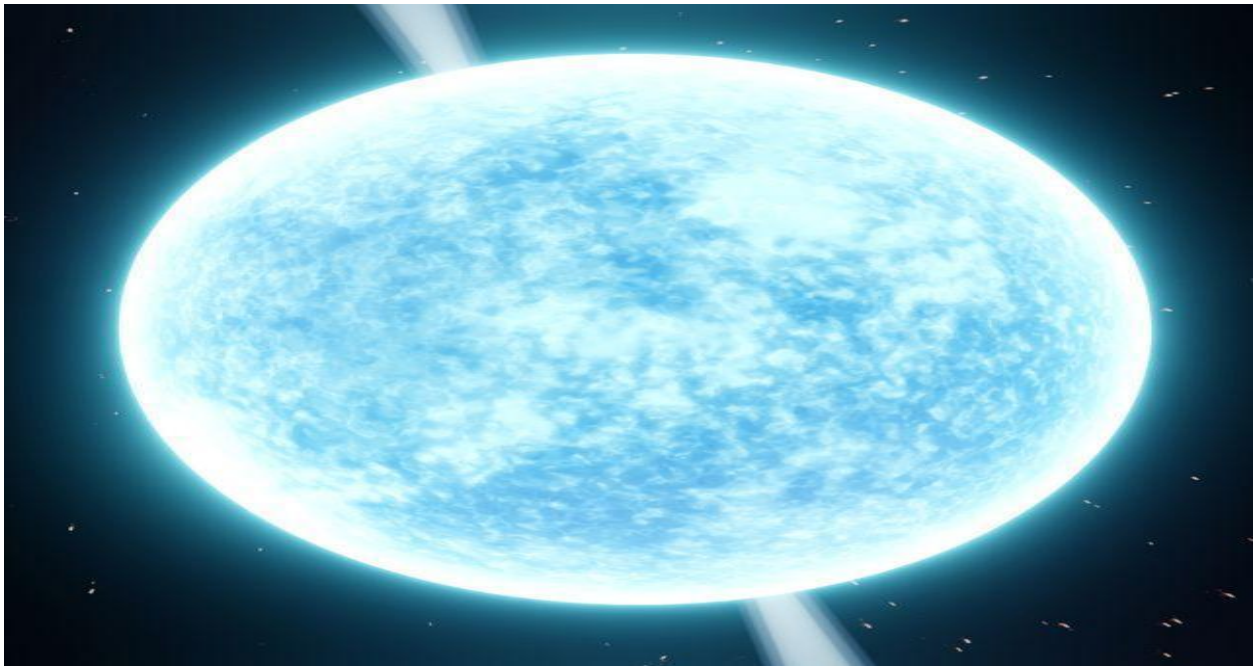
Toekomst

De oerknaltheorie is een theorie over het ontstaan van het heelal. Voor de toekomst van het heelal zijn er een aantal mogelijkheden:

- Het heelal zal eeuwig uitdijen en deze uitdijing zal zich in een versneld tempo voortzetten (big rip).
- De uitdijing van het heelal zal afgeremd worden door de zwaartekracht, en daardoor na verloop van tijd instorten, exact zoals bij de oerknal maar dan achteruit (big crunch).
- Het heelal zal eeuwig uitdijen en de warmte-energie in het heelal zal steeds verder verspreid raken, waardoor het steeds kouder en kouder wordt (big chill).
- Het heelal zal uitdijen, maar er zijn meerdere ruimten die dat ook doen en zo elkaar op den duur kruisen. Dit hangt nauw samen met het idee van een multiversum. Er ontstaan nieuwe centra, waar materie zich opnieuw samenvoegt, en waar zodoende ook nieuwe oerknallen kunnen ontstaan. Zo ontstaat er een soort "superheelal".
- Recente waarnemingen en afstandsmetingen pleiten voor de versnelde uitdijing van het heelal, waartoe een nog slecht begrepen verschijnsel moet worden ingevoerd dat bekendstaat als donkere energie.

Neutronensteren

Een theelepel neutronenster weegt maar liefst tien miljoen ton. Hoe komt die ster zo zwaar?



Alles wat we hier op aarde zien, komt uit het binnenste van sterren. Denk aan veelvoorkomende elementen als koolstof en zuurstof. Maar ook zeldzame elementen, zoals goud en platinum, zijn diep in het heelal ontstaan. Daarvoor moest er wel iets zeldzaams gebeuren, zoals het ontstaan van een supernova of de botsing van twee neutronensterren. Maar wat is een neutronenster? En hoe ontstaat deze?

1. Hoe ontstaat een neutronenster?

Een neutronenster ontstaat wanneer een heel grote ster aan het einde van haar leven komt. Sterren waarvan de massa minimaal acht keer zo groot is als die van onze eigen zon, eindigen hun leven als supernova: de explosie van een ster. De kern van de ster krijgt hierbij zo veel druk van de zwaartekracht dat alle protonen en elektronen versmelten tot neutronen. Het resultaat is een neutronenster: een object met een intense dichtheid, maar met een doorsnede van slechts zo'n twintig tot dertig kilometer.

Het begin en einde van een ster

2. Wat is het verschil tussen een pulsar en neutronenster?

Iedere pulsar is een neutronenster, maar niet iedere neutronenster is een pulsar. Pulsars hebben enorm sterke magnetische velden, die elektrisch geladen deeltjes aantrekken. Die hopen zich op in de buurt van de magnetische polen, zodat er twee extreem hete plekken ontstaan. Vanaf daar wordt er krachtige radiostraling het heelal in gezonden.

De magnetische polen van de neutronenster komen meestal niet overeen met de rotatie-as. De bundels straling zwiepen dus door het heelal en worden een pulsar genoemd. Als de aarde zich in de baan van zo'n bundel bevindt, zien wij dat als een soort vuurtoren. Het licht is in werkelijkheid continu te zien, maar je ziet het alleen als het in jouw richting schijnt.

3. Wat is het verschil tussen een neutronenster en zwart gat?

Een neutronenster en een zwart gat ontstaan beide uit een supernova. Het verschil is dat de ster van een zwart gat een nóg grotere massa had dan de ster van een neutronenster. Hoe een ster er aan het einde van zijn leven uit komt te zien, wordt bepaald met de zogeheten chandrasekhar-limiet. Ligt de massa van een ster boven deze limiet? Dan wordt een ster een neutronenster of een zwart gat. Ligt hij eronder? Dan eindigt een ster als witte dwerg.
Als er na de supernova een kern overblijft die één tot drie keer groter is dan die van onze zon, ontstaat een neutronenster. Is de kern groter dan drie keer onze zon? Dan bezwijkt de kern onder zijn eigen gewicht en ontstaat er een zwart gat.

4. Hoe zwaar is een neutronenster?

De dichtheid en zwaarte van een neutronenster is lastig voor te stellen. Je kunt het vergelijken met de massa van Mount Everest, samengeperst in één suikerklontje. Een theelepel van een neutronenster, weegt op aarde tien miljoen ton. De zwaarste neutronenster die momenteel bekend is, is PSR J0740-6620. Deze werd in 2019 ontdekt en staat op 4600 lichtjaar bij ons vandaan.

5. Hoe snel draait een neutronenster?

De snelst gemeten neutronenster is volgens NASA PSR J1748-2446ad. Die draait maar liefst 716 keer per seconde om zijn eigen as. Neutronensterren kunnen zo snel draaien omdat ze zo ontzettend klein zijn geworden. De hoeveelheid draaiing blijft gelijk, maar de snelheid neemt door het kleiner worden toe. Vergelijk het met kunstrijden. Zodra de schaatser zijn armen intrekt – en dus kleiner wordt – neemt de snelheid van de draaiing toe.

BOAT, de helderste gammastraaluitbarsting ooit



Nieuwe ontdekking over BOAT, de helderste gammastraaluitbarsting (GRB) ooit geregistreerd.

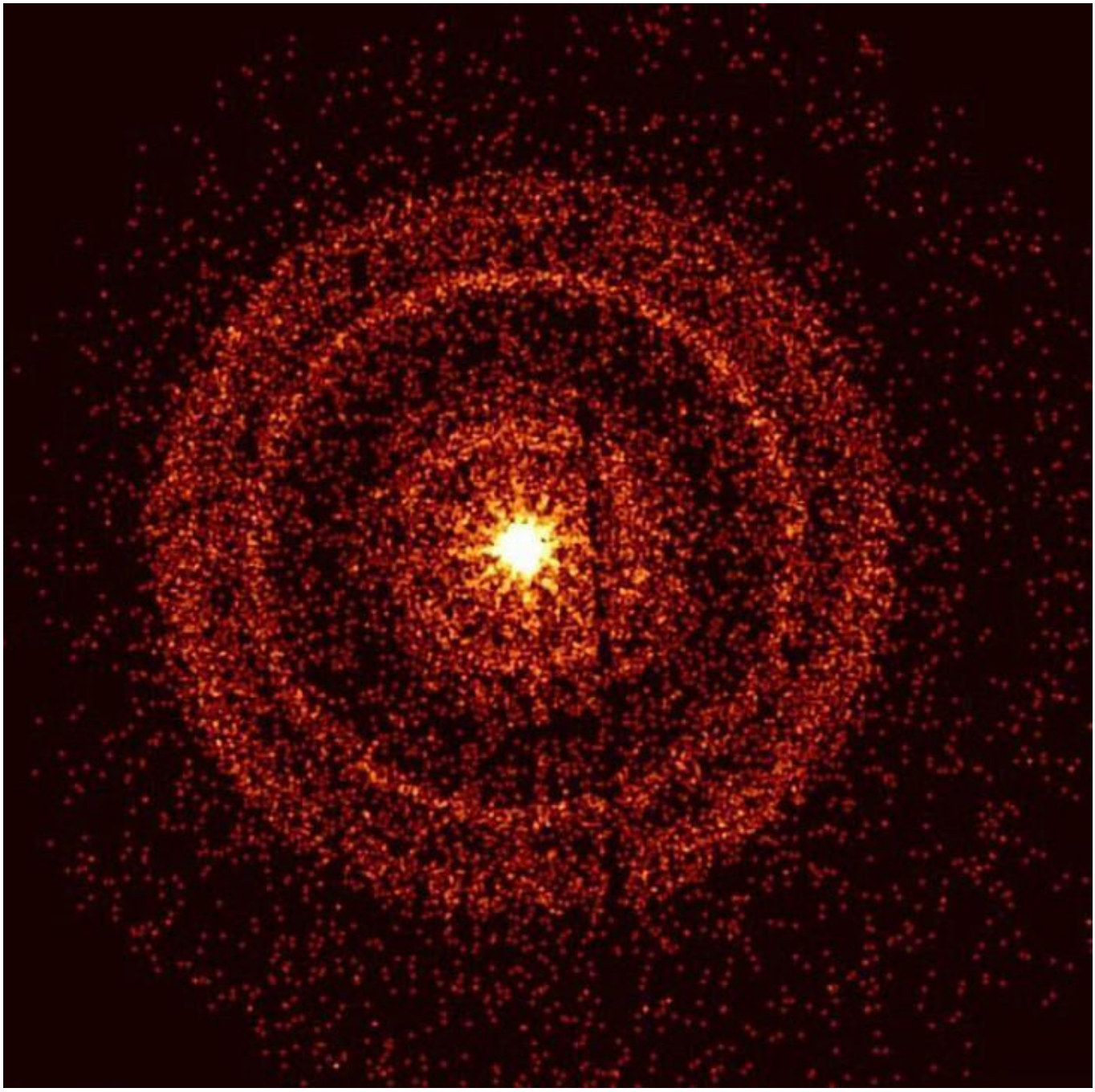


Het was 2022, om precies te zijn op 9 oktober, toen een internationaal team van onderzoekers, waaronder astrofysici van de Northwestern University, Illinois, VS, de helderste gammastraaluitbarsting sinds de oerknal opmerkte, genaamd GRB 221009A en genaamd BOAT. Bijna twee jaar later bevestigde een team van dezelfde universiteit dat de oorzaak van dit ongelooflijke fenomeen de ineenstorting en explosie van een massieve ster was. Een gigantische supernova dus ontdekt dankzij de James Webb-ruimtetelescoop van NASA.

Deze kennis opent echter de weg naar een ander mysterie: volgens wetenschappers zouden zware elementen zoals goud en platina verborgen kunnen zijn in de supernova. Dergelijke majestueuze supernova's zouden deze materialen in feite

moeten produceren en de nieuwe studie heeft precies dit aspect onderzocht om bevestiging te vinden.

Er zit geen goud en platina in BOAT: het mysterie duurt voort



NASA/Swift/Wikimedia commons - Public domain

De explosie vond plaats op 2,4 miljard lichtjaar afstand van de aarde, in het sterrenbeeld Sagitta. Peter Blanchard, astrofysicus en eerste auteur van het onderzoek, legt uit: "Toen we bevestigden dat de GRB werd veroorzaakt door de ineenstorting van een massieve ster, gaf dit ons de kans om een hypothese te testen over hoe enkele van de zwaarste elementen in het heelal werden gevormd." Hij

voegt er echter aan toe: "We zagen geen sporen van deze zware elementen, wat suggereert dat extreem energetische gammastraaluitbarstingen zoals BOAT deze elementen niet produceren."

Hij benadrukt dat dit niet betekent dat geen enkele GRB ze produceert. Het feit dat we ze kunnen uitsluiten van deze enorme supernova is echter wel een cruciaal detail "omdat we blijven proberen te begrijpen waar deze zware elementen vandaan komen". Een voortdurend mysterie dus, dat de vorige hypothese ontkracht en een stukje toevoegt aan het begrip van de oorsprong van goud en platina in de kosmos.

Gammastraaluitbarsting: de oorsprong



ESO/A. Roquette/Wikimedia commons - CC BY 4.0

Maar hoe gebeurt zo'n kosmische gebeurtenis in detail? Als een massieve ster geen brandstof meer heeft, stort hij eerst in en explodeert vervolgens naar buiten, wat resulteert in een immense supernova-explosie waarbij een zeer dichte neutronenster of zwart gat achterblijft. Het zijn juist deze explosies die gammastraaluitbarstingen veroorzaken, hoewel de oorzaak in zeldzame gevallen te wijten kan zijn aan de botsing tussen twee neutronensterren.

In elk geval kunnen deze indrukwekkende explosies worden vastgelegd door waarnemers in de ruimte en soms zelfs vanaf de aarde. De eerste die we zagen, werden in de jaren zestig geregistreerd door Amerikaanse militaire satellieten. Sindsdien zijn de inspanningen gericht op het ontwikkelen van apparatuur die geschikt is voor het detecteren van hun super-energetische licht, tot de komst van

BOAT, tien keer krachtiger dan al zijn voorgangers. "Een gebeurtenis die de aarde maar eens in de 10.000 jaar ziet", verklaarde Blanchard.

Astronomen moesten zes maanden wachten tot de gloed was uitgedoofd voordat ze deze rechtstreeks via de James Webb konden bewonderen. Uiteindelijk ontdekten de onderzoekers sporen van zuurstof en calcium, elementen die veel voorkomen in supernova's. Het zwaarste materiaal dat erin zit is ijzer. In de nabije toekomst zal NASA's ruimtetelescoop worden gebruikt om meer supernova's te observeren en te bestuderen en meer informatie te verzamelen over wat nog niet volledig wordt begrepen.

Superzware zwarte gaten mogelijk kwekerij van min-gaatjes

De superzware zwarte gaten in de centra van sterrenstelsels kunnen kleinere zwarte gaten invangen. Die komen zo in een baan om de superzware reus terecht. Dit geeft de kleine zwarte gaten de kans om te groeien. Bovendien laat het de superzware zwarte gaten er nog groter en helderder uitzien.

Rond de superzware zwarte gaten in de centra van sterrenstelsels cirkelen mogelijk duizenden relatief kleine zwarte gaten. Dat zou verklaren hoe kleine zwarte gaten groter worden. Ook zou het ons nieuw inzicht geven in waarom superzware zwarte gaten zo helder lijken.

De centra van sterrenstelsels hebben een buitengewoon hoge dichtheid en dus een sterke aantrekkende zwaartekracht. Materie – inclusief 'stellaire' zwarte gaten, waarvan de massa vergelijkbaar is met die van sterren – heeft daarom de neiging zich daar op te hopen.

Een deel van deze materie valt naar het centrale superzware zwarte gat in het sterrenstelsel. Zo'n bruisend stelselcentrum wordt ook wel een active galactic nucleus (AGN) genoemd. Hierdoor ontstaat een zogeheten accretieschijf rond het zwarte gat. Dit is een gloeiendhete ring van plasma.

Astronoom Shuying Zhou van de Xiamen Universiteit in China en haar collega's hebben met computermodellen berekend hoe kleine zwarte gaten in zulke schijven terecht kunnen komen en hoe dat ze verandert.

Botsingen

'Sterren en zwarte gaten zoemen rond in een zwerm rond het centrale superzware zwarte gat. Ze breken daarbij telkens door de dunne accretieschijven heen', zegt astronoom Zoltan Haiman van Columbia-universiteit in New York, die niet bij dit werk betrokken was. De botsingen onttrekken energie aan de sterren en zwarte gaten.

Uiteindelijk zijn ze dusdanig vertraagd dat ze ingevangen worden en blijven hangen in de schijf, zegt hij, ‘als in een vliegenval’.

Zhou en haar collega’s ontdekten dat elk superzwaar zwart gat omringd moet worden door duizenden van deze kleine zwarte gaten. Elk van die kleine zwarte gaten ontwikkelt zijn eigen kleine accretieschijf, waardoor het plasma en gas rond de AGN verder opwarmen. ‘Eerst dachten we dat de verhitting door stellaire zwarte gaten een kleine rol zou spelen’, zegt Zhou. ‘Maar de stellaire zwarte gaten kunnen het gas in de AGN-accretieschijf enorm verhitten.’

Deze verhitting moet vooral merkbaar zijn in de buitenste gebieden van de schijf. Daardoor kan het bereik van de gloed van de schijf meer dan drie keer zo groot worden.

Lopende band

Als dit proces inderdaad plaatsvindt, zou dat cruciaal kunnen zijn voor ons begrip van AGN’s en hoe ze ontstaan. ‘Op dit moment hebben we veel ‘gaten’ in de kennis van de fysica die bepaalt hoe AGN-schijven ontstaan en evolueren’, zegt astronoom Shmuel Gilbaum van de Hebreeuwse Universiteit van Jeruzalem. ‘Het verbeteren van ons begrip van AGN-schijven is cruciaal voor het begrijpen van de geschiedenis en evolutie van het heelal.’

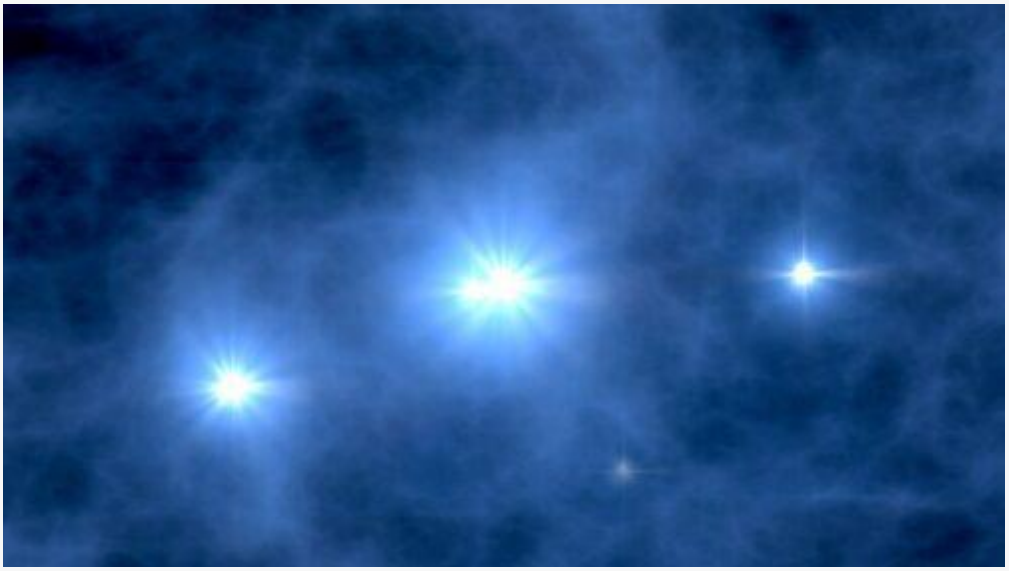
Ook zou dit kunnen verklaren hoe zwarte gaten dankzij botsingen steeds groter worden. ‘Zwarte gaten zijn heel erg klein, dus de kans dat ze elkaar in dit enorme heelal toevallig tegenkomen en botsen is extreem klein’, zegt Imre Bartos van de Universiteit van Florida. ‘De accretieschijf fungeert als een soort lopende band voor zwarte gaten. Daar kunnen kleinere zwarte gaten elkaar ontmoeten en op elkaar botsen om zwaardere zwarte gaten te vormen. Dit kan een belangrijke bron van samensmeltingen zijn.’

Dat proces interesseert astronomen, omdat ze zwarte gaten hebben waargenomen met een massa van meer dan vijftig keer die van onze zon. Hoe deze zwarte gaten zijn ontstaan, is al decennialang een onbeantwoorde vraag.

Waarnemingen

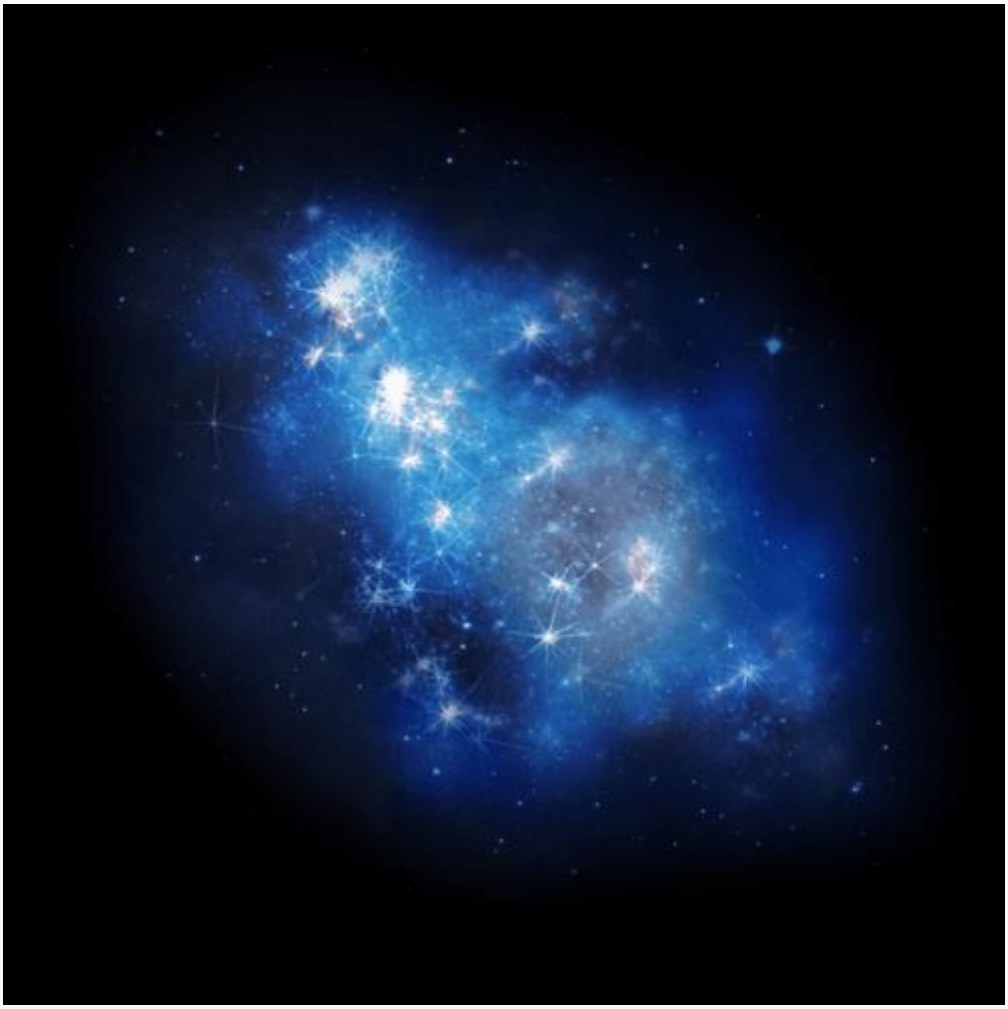
Het belangrijkste deel van dit werk is dat de effecten van kleine zwarte gaten op de accretieschijven waarneembaar moeten zijn, zegt astronoom Rosalba Perna van de Stony Brook-universiteit in New York. Met gedetailleerde waarnemingen van het licht van AGN’s in verschillende golflengten kunnen we vaststellen of deze stellaire zwarte gaten inderdaad de voorspelde effecten hebben, zegt ze.Tot nu toe lijken de waarnemingen overeen te komen met de voorspellingen. AGN’s die groter en helderder leken dan mogelijk werd geacht, zouden verklaard kunnen worden door dit verhittingsproces.

Mogelijk zijn aanwijzingen gevonden voor de allereerste sterren in het heelal



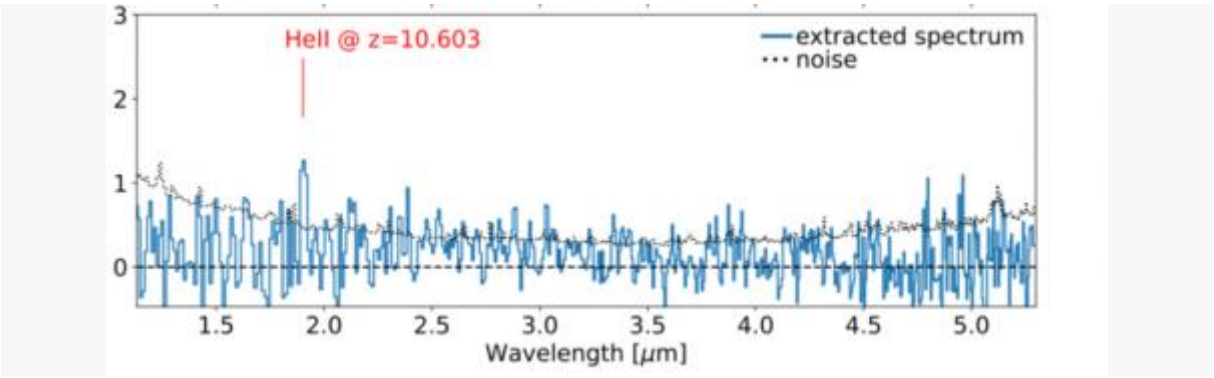
Impressie van Pop III sterren. Credit: By NASA/WMAP Science Team

Ze worden Populatie III sterren genoemd, de allereerste sterren in het heelal. Ze bestonden uit de lichtste elementen die het heelal kent, waterstof en helium, elementen die tijdens de oerknal werden gevormd, waar 13,8 miljard jaar geleden het heelal mee ontstond. Er wordt al lang gezocht naar de sterren of naar aanwijzingen voor hun bestaan, maar tot nu toe heeft dat niets concreets opgeleverd. Maar wellicht is daar nu verandering in gekomen, want mogelijk is dat met JWST-JADES (James Webb Space Telescope Advanced Deep Extragalactic Survey) wel gebeurd. In het kader van dat waarneemprogramma hebben ze het sterrenstelsel GN-z11 bestudeerd, een stelsel dat met Hubble is ontdekt en dat jarenland door het leven ging als het verst verwijderde sterrenstelsel in het heelal. Roberto Maiolino (Cavendish Laboratory en het Kavli Institute for Cosmology van de University of Cambridge) en zijn team hebben in GN-z11 aanwijzingen gevonden voor Pop III sterren, zoals ze kortweg worden genoemd.



Artistieke impressie van GN-z11. Credit: Pablo Carlos Budassi – Wikipedia.

GN-z11 heeft een roodverschuiving van z=10,6034 en dat betekent dat het stelsel al bestond toen het heelal nog maar 400 miljoen jaar oud was, dat was 13,4 miljard jaar geleden. De hypothetische Pop III sterren konden zeer zwaar zijn, tot meer dan duizend zonsmassa per stuk. Ze waren ook zeer heet en met die hitte waren ze in staat om helium in hun nabijheid dubbel te ioniseren, d.w.z. de elektronen er van te verstoten. Vandaar dat ze met Webb op zoek gingen naar de zogeheten HeIIλ640 emissielijn, een lijn die het gevolg is van die dubbele ionisatie. En dan mag die lijn niet vergezeld gaan van lijnen van metalen, elementen zwaarder dan helium, want die waren er toen nog niet. En inderdaad, met Webb's NIRSpec-IFU (Integrated Field Unit) werd net buiten het centrum van GN-z11 HeIIλ640 gevonden! Zie de grafiek hieronder.



De HeII emissie werd onder andere gezien in een wolk van gas ten westen van de kern van GN-z11. In het stelsel is ook CIII waargenomen, dat is dubbel geïoniseerde koolstof, maar in de buurt van de HeII wolk is het zeer gering. Dat zou er op kunnen wijzen dat de helium-ionisatie het werk is van de AGN, van de active galactic nucleus, de kern van GN-z11 waar zich een superzwaar zwart gat bevindt – dus niet het werk van Pop III sterren. Maar een wolk van HeII ten noordoosten van GN-z11 is wel interessant, omdat die wolk (met z~10,6) wel het werk lijkt te zijn van een lokale bevolking van metaalarme Pop III sterren. Dicht bij de kern kan de AGN de ionisatie verklaren, maar op de afstand van de wolk ten noordoosten van GN-z11 lijkt dat niet het geval te zijn. Er is nog wel één mogelijke spelbreker, die roet in het eten kan gooien: de dubbele ionisatie zou ook kunnen ontstaan door een zogeheten '*direct collapse black hole*' (DCBH), een zwaar zwart gat dat ontstaat door de plotselinge gravitationele kollaps van een enorme wolk waterstofgas. Alleen leidt dat tot smallere emissielijnen dan waargenomen, dus vandaar dat ze toch denken aan Pop III sterren.

Leven vormde het Heelal.

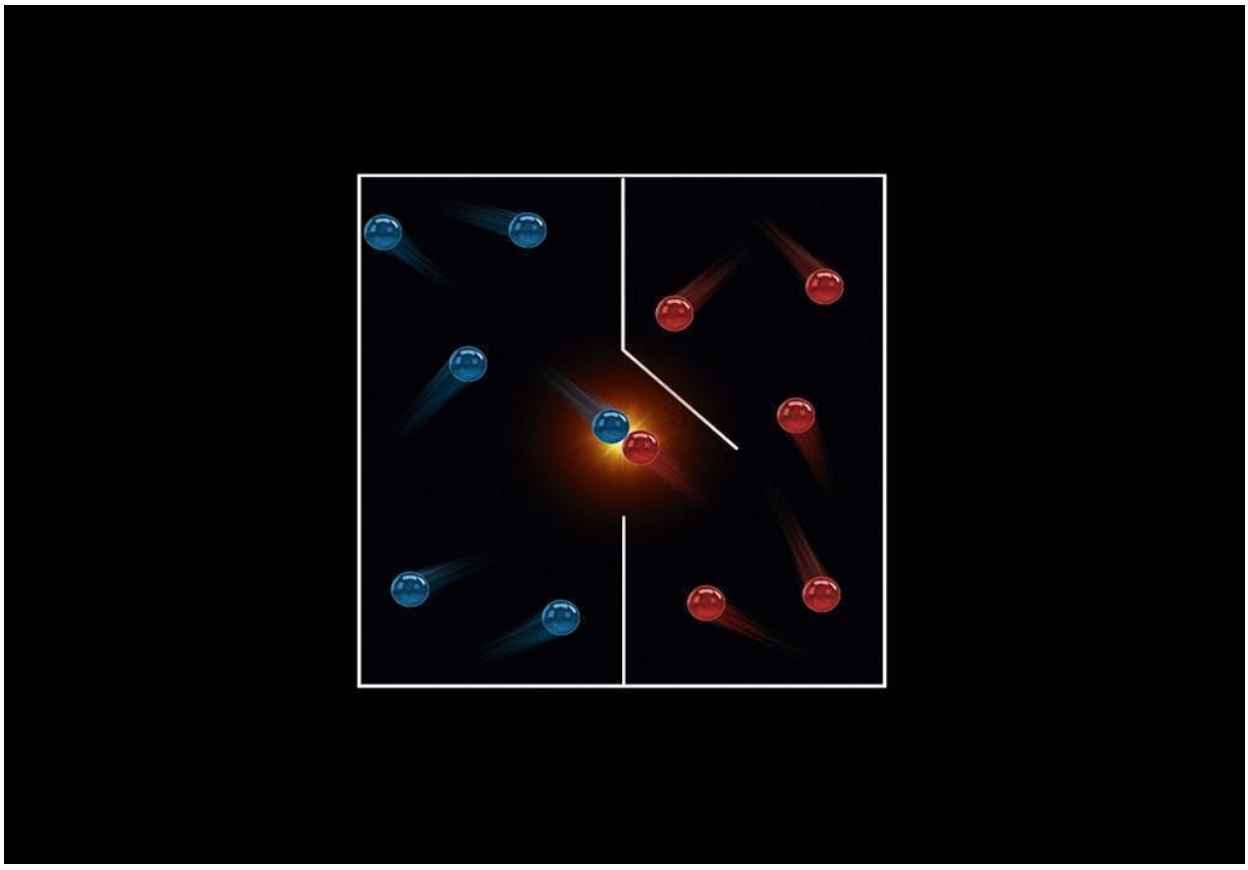
Volgens natuurkundigen neemt de mate van chaos steevast toe met de tijd. Dus kunnen ze ook het einde van het heelal voorspellen – uiteindelijk zal alles een kille, levenloze gassoep zijn.

Maar wat het leven op aarde betreft nam de chaos juist af, waarbij er steeds meer geordende levensvormen kwamen – van eenvoudige moleculen tot complexe dieren en mensen.

Maar kan het leven een wet overtreden die voor alles in het heelal geldt?

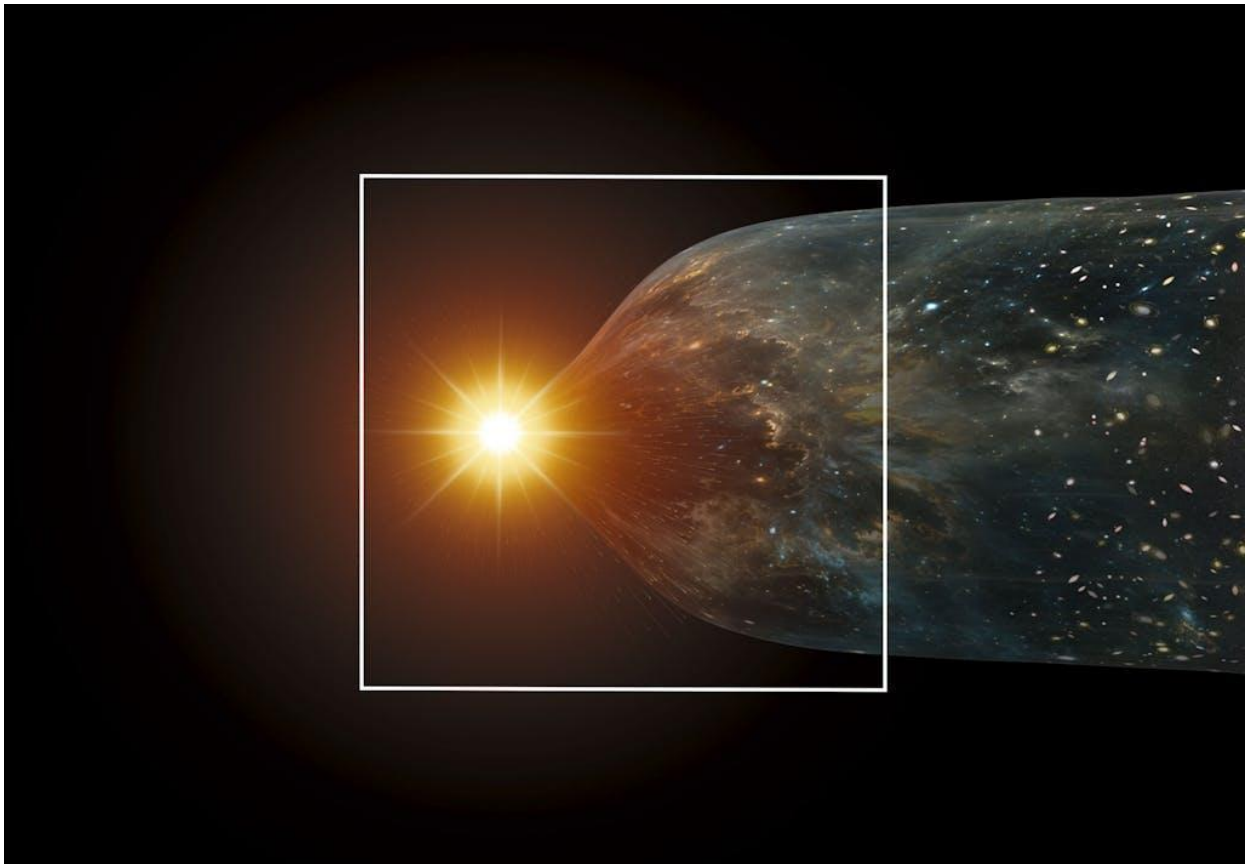
Puinhoop in het heelal neemt toe

Volgens de tweede wet van de thermodynamica neemt de mate van chaos of entropie in een fysisch systeem toe met de tijd. Sinds het heelal 13,8 miljard jaar geleden ontstond, is het steeds wanordelijker geworden.



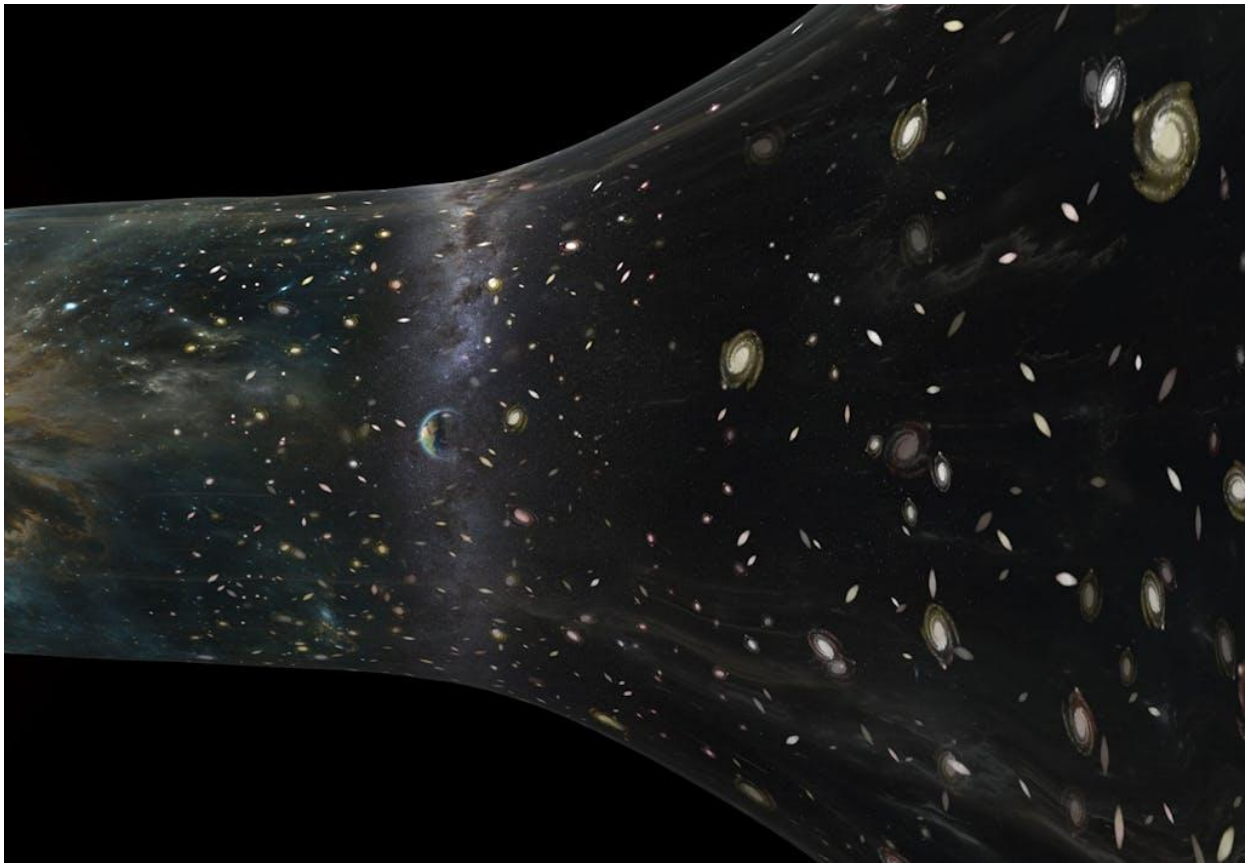
1. Reactiemogelijkheden creëren wanorde

De mate van wanorde neemt toe met het aantal reactiemogelijkheden. Twee gassen in elk een kist vormen een ordelijk systeem, maar open de deur ertussen en de gassen reageren met elkaar en nemen meer toestanden aan: de entropie neemt toe.



2. Het jonge heelal is nog ordelijk

Na de oerknal was het heelal een heet plasma met een gelijkmatige temperatuur en dichtheid. Zoals met het voorbeeld van de twee gassen in elk een kist had de materie weinig mogelijkheden om te reageren, en was de entropie dus gering.



3. Elementen maken er een potje van

De eerste 200 miljoen jaar bestond materie vooral uit waterstof. Maar toen de eerste sterren ontbrandden, begonnen er processen die alle nu bekende elementen creëerden en dus veel meer toestanden van materie – de entropie nam toe.
De mate van wanorde in een fysisch systeem wordt berekend uit het aantal mogelijke toestanden waarin het systeem kan verkeren. Hoe meer toestanden, hoe groter de wanorde of entropie.
Tot nu toe hebben natuurkundigen bij de berekening van de totale entropie van het heelal geen rekening gehouden met leven, omdat het aantal deeltjes van het leven op aarde te verwaarlozen lijkt.
Maar nu hebben vier wetenschappers alsnog het aantal mogelijke toestanden in de biologie berekend, en dat blijkt verrassend groot te zijn.
Zo groot zelfs dat de oorsprong van het leven een beslissende rol gespeeld kan hebben in de evolutie van het hele heelal.

Stoommachines creëren chaos

Het begrip entropie komt uit de klassieke warmtetheorie, de thermodynamica.

Deze theorie werd in de jaren 1800 ontwikkeld met het praktische doel om de stoommachine te verbeteren. Maar de natuurkundigen begrepen dat de wetten van de thermodynamica universeel zijn en overal en altijd gelden.

De wetten van de thermodynamica

0. Thermodynamisch evenwicht
De natuur zoekt altijd naar thermisch evenwicht. Als je een deur opent tussen twee kamers met warme en koude lucht, zal het temperatuurverschil zich opheffen.

1. Behoud van energie
Energie kan niet uit zichzelf ontstaan of verdwijnen, maar alleen omgezet worden; je gebruikt bijvoorbeeld energie uit voedsel als je gaat hardlopen**.**

2. Entropie en warmtetransport
De mate van wanorde, entropie, in elk fysisch of chemisch systeem dat aan zichzelf wordt overgelaten zal constant blijven of toenemen**.**

3. Absoluut nulpunt
Totale orde kan alleen bestaan bij het absolute nulpunt van -273,15 °C, waarbij atomen de laagst mogelijke energie hebben en in principe stilstaan.

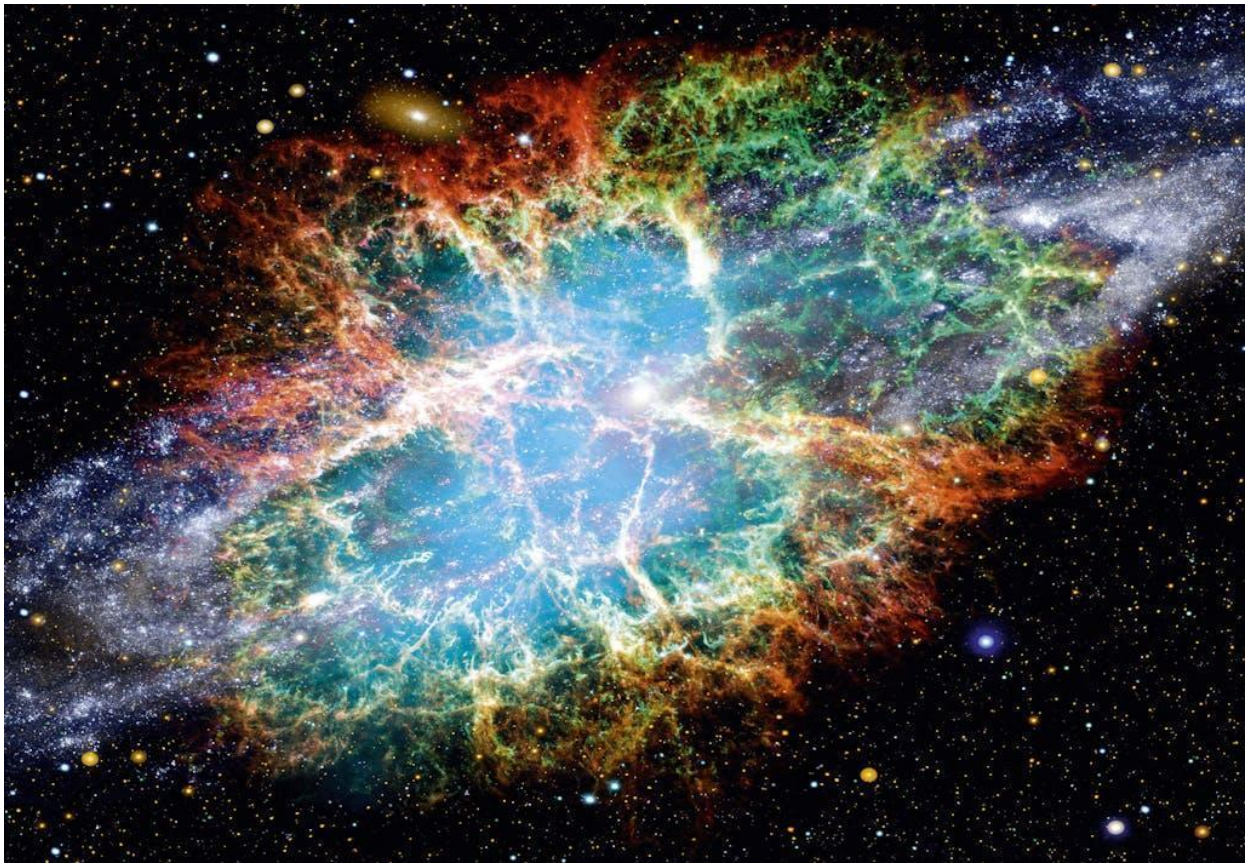
Het probleem van de wanorde is de tweede wet van de thermodynamica. Die stelt dat de mate van wanorde, entropie, van elk fysisch of chemisch systeem dat aan zichzelf wordt overgelaten constant zal zijn of zal toenemen.

En het is onmogelijk dat het systeem ordelijker wordt, zoals met de evolutie op aarde in 4 miljard jaar gebeurd is.

Met de toenemende mate van orde in complexe levende organismen lijkt de entropie van het leven steeds geringer te zijn geworden. Maar het onderzoeksteam van de nieuwe theorie wil de entropie van het leven nu heel anders benaderen.

Vier natuurkundigen en biologen van het Institute of Systems Biology in Seattle (VS) en van het Perimeter Institute for Theoretical Physics in Ontario (Canada) begonnen hun theoretische werk met het berekenen van de snelheid van entropie gedurende de 13,8 miljard jaar lange geschiedenis van het heelal.

De eerste 380.000 jaar na de oerknal was het heelal een vuurbal van gloeiend heet plasma – gescheiden protonen en elektronen – die heftig uitdijde. Zowel de dichtheid als de temperatuur waren in de hele ruimte zeer gelijkmatig.



In het begin was de materie in het heelal zeer uniform en was de entropie laag. Maar sterren creëerden allerlei nieuwe toestanden van materie, en zo nam de entropie toe.

De entropie van het jonge heelal werd dus alleen bepaald door het aantal atoomdeeltjes en de beperkte manieren waarop die met elkaar konden interageren.

Daarna trok de zwaartekracht materie samen in gaswolken, sterren, stelsels en clusters. Deze evolutie heeft ontelbare nieuwe toestanden geschapen die materie kan aannemen onder sterk uiteenlopende druk en temperatuur, waarmee de entropie van het heelal flink is toegenomen.

Leven haalt donkere energie in

De grootste bijdrage aan de entropie in het heelal is volgens de kosmologie donkere energie – een hypothetische, afstotende kracht die de samentrekking van de zwaartekracht in de afgelopen 5-6 miljard jaar heeft tegengewerkt en de uitdijing van het heelal nog meer heeft versneld.

De donkere energie brengt een enorme entropie van 10124 mogelijke toestanden teweeg. Maar het team zegt dat het leven op onze piepkleine planeet al het andere in het heelal verslaat als het op het aantal combinaties aankomt.

1 met 124 nullen – zo veel mogelijke toestanden kent donkere energie. Maar de

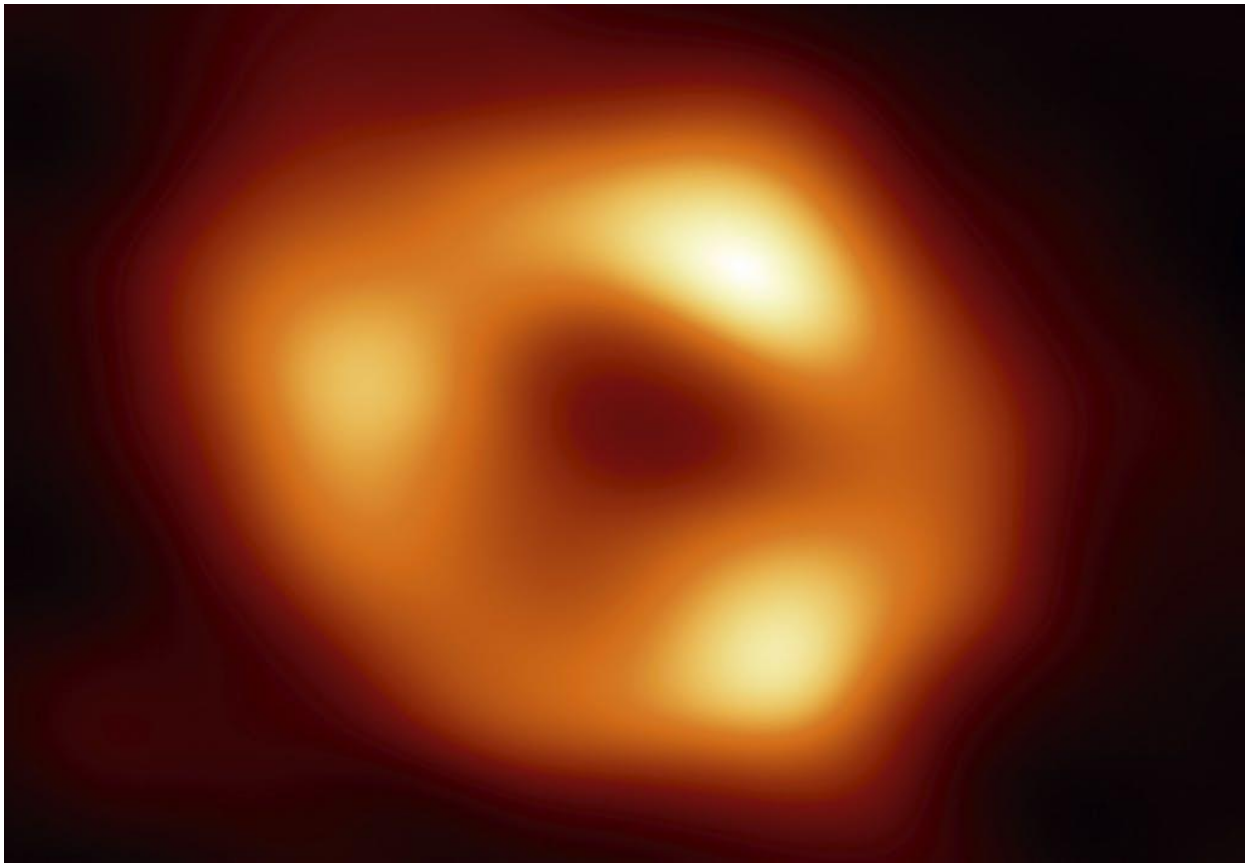
entropie van het leven is veel groter.

Levende organismen bestaan uit met name zes elementen – koolstof, waterstof, stikstof, zuurstof, fosfor en zwavel. Die vormen samen biologische moleculen als DNA, onze informatiedrager, en eiwitten, de werkpaarden van alle biochemische processen in het leven.

Het punt is dat biomoleculen veel meer toestanden kunnen aannemen en processen uitvoeren dan waartoe de zes elementen in de anorganische scheikunde in staat zijn – het aantal mogelijke toestanden is berekend op 10^{238}.

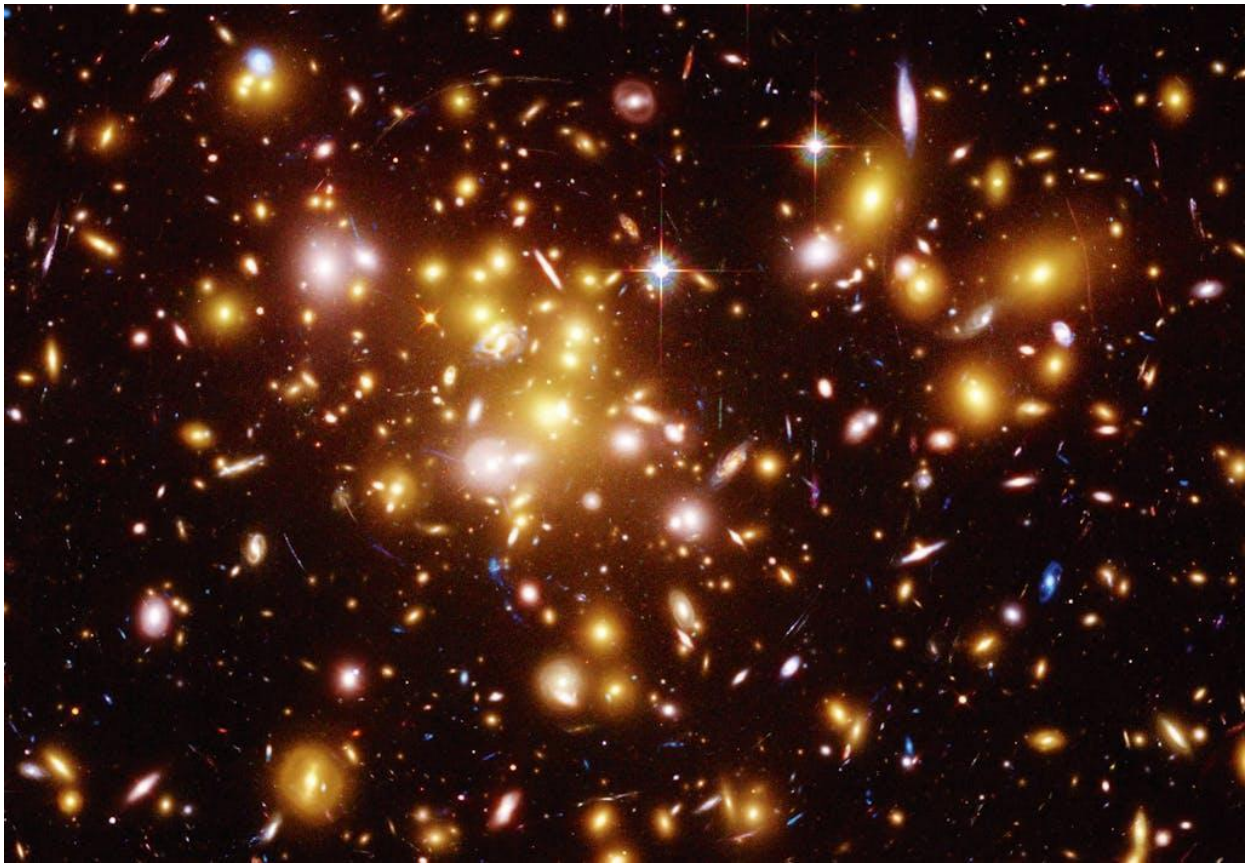
Het leven schept de grootste chaos in het heelal

Zwarte gaten en de mysterieuze donkere energie werden beschouwd als de grootste chaosscheppers in het heelal, maar volgens een nieuwe theorie brengt het leven de grootste entropie teweeg.



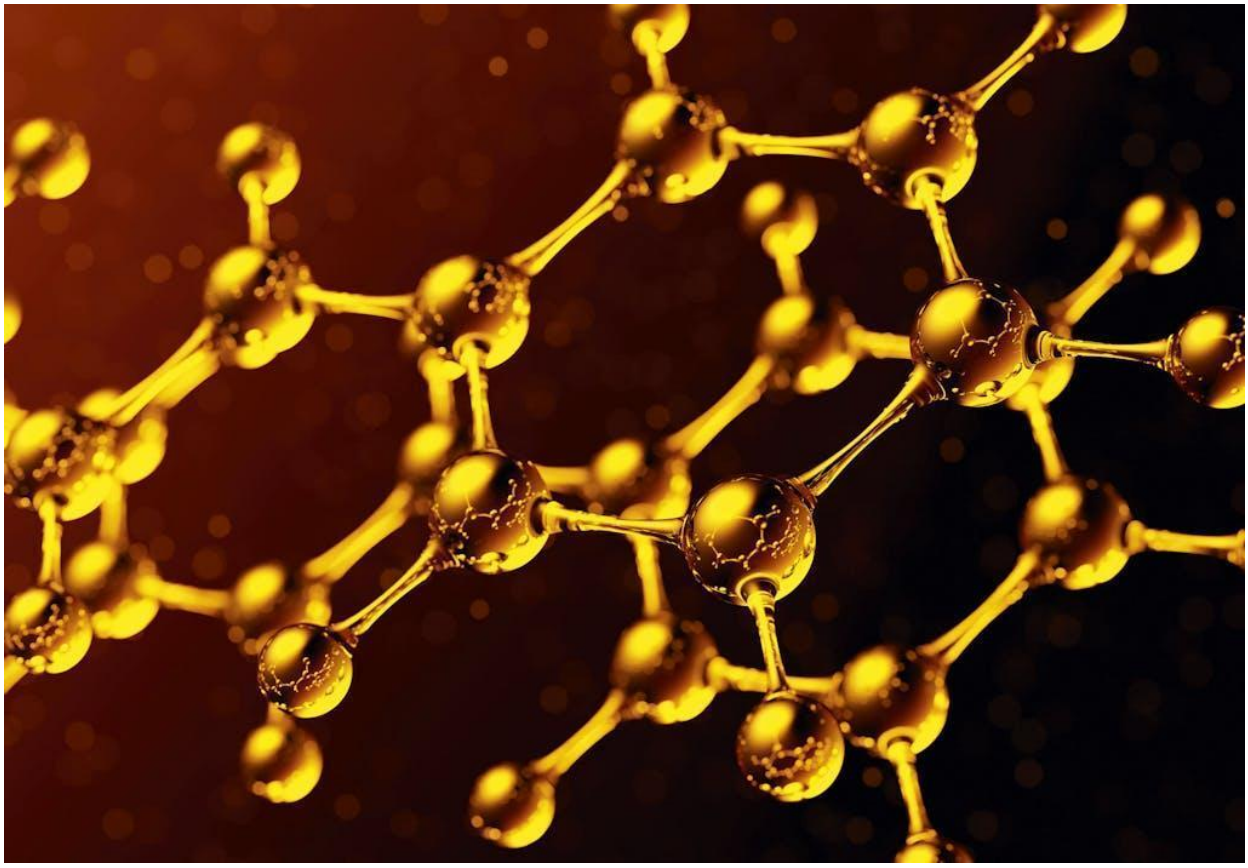
1. Zwarte gaten rommelen wat aan

Zwarte gaten verpakken de meeste chaos in het kleinste volume. Het superzware zwarte gat in de Melkweg bevat alleen al meer entropie dan het gehele jonge heelal. In totaal hebben zwarte gaten een entropie van 10^{104} mogelijke toestanden.



2. Donkere energie vergroot de chaos

Volgens de kosmologie zit het heelal vol afstotende donkere energie die de samentrekking van de zwaartekracht tegenwerkt en het heelal sneller doet uitdijen. Donkere energie brengt een enorme entropie van 10^{124} mogelijke toestanden teweeg.



3. Leven gaat alle grenzen te buiten

Wanneer koolstof, waterstof en de andere bouwstenen van het leven complexe biomoleculen vormen, kunnen ze ontelbare reacties uitvoeren die in de anorganische chemie niet mogelijk zijn. Volgens een nieuwe theorie brengt het leven een entropie van 10238 mogelijke toestanden teweeg.
Met de vele mogelijke combinaties verhoogt het leven op aarde de entropie van het heelal tot boven alle grenzen.

Nieuwe wet regeert de biologie

Niets in de thermodynamica beperkt het aantal mogelijke biologische toestanden, maar in de praktijk maakt de evolutie slechts gebruik van een fractie van alle eiwitten en biochemische reacties die het leven kan voortbrengen.
Daarom komen de vier onderzoekers met een biologisch/thermodynamische wet die ze de theorie van de naaste mogelijkheden noemen.
Die stelt dat de evolutie, via mutaties en geslachtelijke voortplanting, alleen de meest geschikte biomoleculen selecteert om de gespecialiseerde cellen en organen te bouwen die uiterst complexe en goed geordende organismen vormen.



Het leven bevat een extreem aantal mogelijke moleculen. Maar de evolutie heeft alleen de meest geschikte geselecteerd, en zo geordende organismen geschapen.

Deze theorie heft de tegenstelling op tussen de evolutie van het leven en de universele wet van de thermodynamica van toenemende wanorde, entropie.

Enerzijds kennen levende organismen een enorme entropie in de vorm van alle potentieel mogelijke biomoleculen en het astronomische aantal toestanden die die biomoleculen kunnen produceren door met elkaar te reageren.

Aan de andere kant benut de evolutie slechts een fractie van de mogelijkheden.

Het leven voldoet dus aan de eis van de natuurkunde van toenemende chaos – steeds meer theoretische combinatiemogelijkheden – maar is ook heel ordelijk.

Leven breidde het heelal uit

De nieuwe biologisch/thermodynamische wet impliceert dat het leven alle bekende grenzen aan de totale entropie van het heelal doorbreekt. Daarom brengen de onderzoekers een hypothese naar voren die ze zelf ‘gruwelijk speculatief’ noemen.

Astronomen zien dat de uitdijing van het heelal 5-6 miljard jaar geleden op gang kwam. Volgens de kosmologie komt dit doordat de donkere energie, waardoor het heelal uitzet, toen de zwaartekracht – die het samen probeert te trekken – overwon.

Het onderzoeksteam wijst er nu op dat de oorsprong van het leven mogelijk de donkere energie heeft aangewakkerd.

Waar is de rest van het heelal?

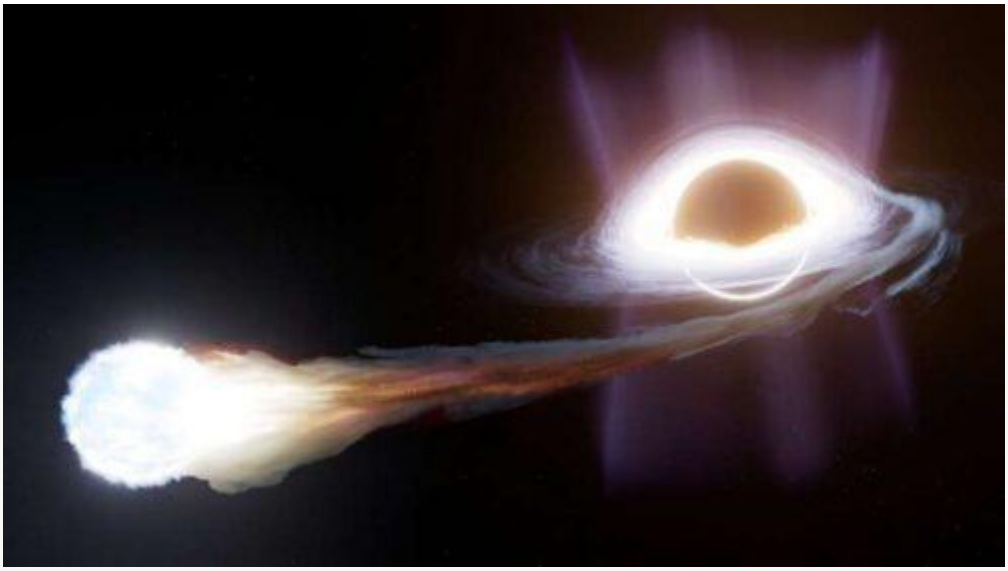
Astronomen zochten 20 jaar. Nu hebben ze alle zichtbare massa gevonden – en gaan ze achter de resterende 95 procent aan, die onzichtbaar is. Een nieuwe telescoop richt zich op het leeuwendeel: donkere energie.

De achtergrond van dit idee is het toeval in de tijd. Op aarde ontstond het leven bijna 4 miljard jaar geleden, maar als het in meer sterrenstelsels voorkomt, kan het op andere planeten eerder zijn ontstaan.

De vorming van sterren en dus ook van planeten piekte 10 miljard jaar terug, dus kan het leven op veel plaatsen zijn ontstaan – en dus op tijd om 5-6 miljard jaar terug donkere energie op te wekken.

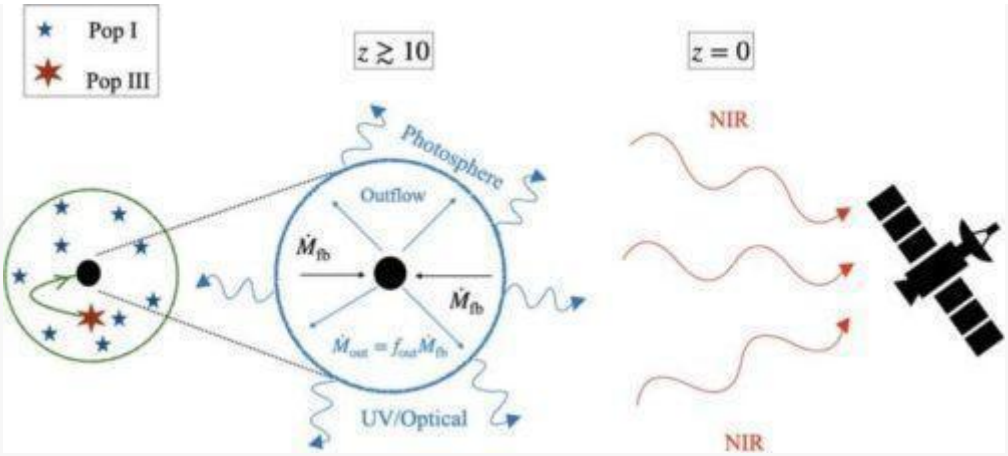
De vier onderzoekers maken er geen geheim van dat ze hun hypothese niet kunnen bewijzen. Maar mogelijk hebben ze de relatie van biologie en astronomie fundamenteel veranderd en een nieuwe wetenschap gecreëerd – biokosmologie.

Nieuwe manier bedacht om de eerste sterren in het heelal te detecteren



Impressie van een Pop III ster die naar een zwart gat toe valt. Credit: Space Telescope Science Institute/Ralf Crawford

Sterrenkundigen doen al lang pogingen de allereerste sterren in het heelal, de hypothetische zogeheten Populatie III sterren, in het heelal te detecteren. Die moeten alleen bestaan hebben uit de allerlichtste elementen waterstof en helium en ze moeten heel groot en heel heet zijn geweest. Ondanks die grootte en temperatuur zijn ze tot op heden nog niet gedetecteerd en dat komt omdat ze alleen in het vroege heelal voorkwamen en dat betekent dat ze op afstanden staan waarop ze met onze telescopen (nog) niet gezien kunnen worden.



Schematisch diagram van TDE's van Pop III sterren.

Maar nu heeft een team van sterrenkundigen onder leiding van Jane Lixin (University of Hong Kong) een nieuwe methode bedacht om ze toch te kunnen detecteren, tenminste om signalen ervan te kunnen zien. Er bestonden in die tijd –

pakweg een paar honderd miljoen jaar na de oerknal – ook al superzware zwarte gaten, zo hebben waarnemingen van Webb laten zien. Van dergelijke zwarte gaten dichter bij de aarde weten we dat er af en toe een ster te dichtbij kan komen, die dan geheel uit elkaar wordt getrokken en in het zwarte gat verdwijnt, hetgeen op aarde te zien is als een zogeheten tidal disruption event (TDE). Wat als nou eens zo'n Pop III ster in een superzwaar zwart gat verdwijnt? Die vraag stelden Lixin en haar team en het lijkt er op dat we de TDE van een Pop III ster ook kunnen zien, ook al vindt deze op miljarden lichtjaren afstand plaatst (lees: vroeger in de tijd).
De TDE's van nabije superzware zwarte gaten, waar 'normale' sterren naar binnen vallen, zijn al vaak waargenomen en de kenmerken daarvan zijn bekend. Lixin et al denken dat Pop III-TDE's anders zijn en dat ze door de uitdijing van het heelal als infrarode straling te zien moeten zijn (NIR in de diagram hierboven). Met de James Webb Space Telescope (JWST) en de nog te lanceren Nancy Grace Roman Space Telescope (Roman) zouden die TDE's te zien moeten zijn. Volgens berekeningen zou Roman er per jaar een paar dozijn van moeten kunnen zien.

Astronomen spotten de allereerste sterrenstelsels-in-wording: 13,4 miljard jaar geleden geboren

Wetenschappers hebben voor het eerst de vorming van de eerste sterrenstelsels in ons universum aanschouwd. Zij gebruikten daarvoor de James Webb-telescoop. De geboorte van deze drie sterrenstelsels vond 13,3 tot 13,4 miljard jaar geleden plaats in een piepjong universum. Om het in perspectief te plaatsen: ons heelal is 13,8 miljard jaar oud.

Kort na de oerknal bestond het heelal uit heet plasma en was er nog geen licht. Langzaam koelde dit plasma af, waarna elektronen en protonen waterstofatomen vormden. 250 tot 350 miljoen jaar na de oerknal ontstonden de eerste sterren, al waren dit wel extreem zware sterren die slechts een paar miljoen jaar leefden. Door de energie van deze sterren ioniseerde waterstofgas en werd het universum transparant. Deze periode noemen astronomen het tijdperk van de herionisatie. Kort daarna – zo'n 13,4 a 13,5 miljard jaar geleden – ontstonden steeds meer sterren en sterrenstelsels, zoals de drie sterrenstelsels-in-wording die nu door James Webb zijn gespot.
De Deense wetenschappers zagen hoe grote hoeveelheden gas zich ophoopten bij kleine sterrenstelsels-in-wording. Het is voor het eerst dat zij dit direct observeren. Natuurlijk zijn er al vele theorieën en computersimulaties over de vorming van sterrenstelsels, maar niet eerder is het zo duidelijk waargenomen als nu. Deze modellen kunnen dankzij de ontdekking vergeleken worden met de 'echte' piepjonge sterrenstelsels, waardoor wetenschappers deze computersimulaties verder kunnen verfijnen.

"Het zijn de eerste directe beelden van de vorming van de allereerste sterrenstelsels", vertelt assistent-professor Kasper Elm Heintz van het Niels Bohr-instituut. "Dankzij James Webb zijn er al sterrenstelsels in andere stadia van de evolutie waargenomen, maar nu zijn we getuigen van de geboorte van de allereerste stelsels." Volgens de onderzoekers zijn de drie sterrenstelsels 400 tot 600 miljoen jaar na de oerknal ontstaan.



Artistieke impressie van deze sterrenstelsels-in-wording.

Gaswolken doemen op in infrarood

James Webb is een infraroodtelescoop, waardoor wetenschappers dieper in het universum kunnen kijken. Infraroodstraling dringt namelijk door stofwolken heen, terwijl zichtbaar licht door stofwolken wordt tegengehouden. Daarnaast verschuift het licht van verre objecten naar het infraroodgebied, wat ook wel roodverschuiving wordt genoemd, en dit licht kan James Webb opvangen. Tenslotte is infraroodstraling ideaal voor het detecteren van koelere objecten. In het geval van de drie sterrenstelsels-in-wording hebben de wetenschappers koude, neutrale gaswolken gespot. Dit waren de bouwstenen van de eerste sterrenstelsels. Zij keken specifiek naar hoe licht van deze sterrenstelsels werd geabsorbeerd door het neutrale gas in de nabije omgeving. Deze overgang wordt door wetenschappers ook wel de Lyman-alpha-overgang genoemd.

Quantum-tijdpijl wijst erop dat er in het vroege heelal geen verstrengeling was

Een theorie die uitgaat van een zogeheten quantum-tijdpijl biedt een nieuwe verklaring voor waarom de tijd alleen maar vooruit gaat. Het idee heeft grote gevolgen voor zowel de beginperiode van het universum als zijn uiteindelijke ondergang.

In den beginne was er geen quantumverstrengeling. Dat concluderen natuurkundigen op basis van een nieuwe hypothese over de beginperiode van het heelal. De bevinding maakt deel uit van een quantumupdate van onze opvattingen over waarom de tijd slechts in één richting stroomt.

Wanneer twee deeltjes verstrengeld zijn, kunnen ze allebei niet langer worden beschouwd als een onafhankelijk object. Hun eigenschappen zijn dan met elkaar verbonden, zelfs als ze ver van elkaar verwijderd zijn.

Maar zolang deze deeltjes niet perfect geïsoleerd zijn, zal verstoring van buitenaf er uiteindelijk altijd voor zorgen dat hun verstrengeling verbreekt. Dat proces wordt decoherentie genoemd.

Dit verschijnsel vormde de inspiratie voor een idee dat de decoherente tijdpijl of quantum-tijdpijl wordt genoemd. Volgens deze theorie is de onomkeerbaarheid van decoherentie de fundamentele reden dat de tijd altijd voorwaarts stroomt.

Wanorde

De quantum-tijdpijl is verwant aan de meer traditionele thermodynamische tijdpijl. Daarbij volgt de richting van de tijd uit het idee dat entropie, of wanorde, altijd moet toenemen.

Als je de thermodynamische tijdpijl helemaal terugvolgt naar het begin van de tijd, kun je de begintoestand van het universum reconstrueren. Die reconstructie staat bekend als de ‘thermodynamisch-verleden-hypothese’. Je komt dan tot de conclusie dat deze begintoestand een extreem lage entropie had.

Wat betekent ‘sindsdien’?

Natuurkundige Jim Al-Khalili van de Universiteit van Surrey in het Verenigd Koninkrijk en wetenschapsfilosoof Eddy Keming Chen van de Universiteit van Californië in San Diego hebben nu op basis van een soortgelijke analyse de verstrengelingsverleden-hypothese opgesteld. Hun onderzoek wijst erop dat er in de eerste momenten van het universum geen quantumverstrengeling was. Naarmate de

kosmos evolueerde, was er steeds meer verstrengeling en dus ook steeds meer decoherentie.

‘Mensen zijn zich er vaag van bewust dat je een soort hypothese over het verleden nodig hebt om de decoherente tijdpijl te krijgen, maar die hypothese is nog niet eerder echt in detail uitgewerkt’, zegt wetenschapsfilosoof Emily Adlam van de Chapman-universiteit in Californië. ‘Dit verduidelijkt wat die begintoestand van het universum precies is.’

We kunnen de begintoestand van het universum niet direct waarnemen. Deze toestand lijkt misschien ook niet relevant voor de huidige stand van zaken. Maar kennis hierover is cruciaal voor ons begrip van hoe dingen sindsdien zijn geëvolueerd – en zelfs om te begrijpen wat ‘sindsdien’ eigenlijk betekent.

‘Zodra je voorbij dat heel vroege universum komt, heb je thermodynamische entropie, en heb je zwaartekracht die alles samenklontert. Je hoeft je dan geen zorgen meer te maken over quantumverstrengeling’, zegt Al-Khalili. ‘Als je eenmaal een pijl hebt, als je eenmaal een richting van de tijd hebt, dan gaat al het andere vanzelf. We hadden alleen een startpunt nodig.’

Objectiever

Al-Khalili en Chen ontdekten ook dat een begintoestand met een lage verstrengeling een lage thermodynamische entropie zou hebben. Dat wijst erop dat de thermodynamische tijdpijl en de quantum-tijdpijl met elkaar verbonden zijn.

‘De hoop is dat je de thermodynamische-verleden-hypothese kunt afleiden uit de verstrengelingsverleden-hypothese. Dan worden het verschillende aspecten van elkaar’, zegt Adlam. Dat zou ons een completer begrip geven van de aard van de tijd.

Bovendien zou de quantum-tijdpijl nuttiger kunnen zijn dan zijn thermodynamische tegenhanger om het gedrag van het universum te begrijpen. ‘Voor de thermodynamische tijdpijl zoom je als het ware uit’, zegt Al-Khalili. Dat betekent dat er een zekere mate van subjectiviteit is bij het meten van de precieze eigenschappen ervan. ‘De decoherente tijdpijl is een beetje objectiever’, zegt Al-Khalili.

Warmtedood

Het onderzoek wijst erop dat het einde van het heelal niet zo eenvoudig te voorspellen is als we dachten. De algemene consensus is dat het universum hoogstwaarschijnlijk eindigt in een zogeheten warmtedood. Dat is een toestand waarin alle energie gelijkmatig over de ruimte is verdeeld en er nooit meer iets

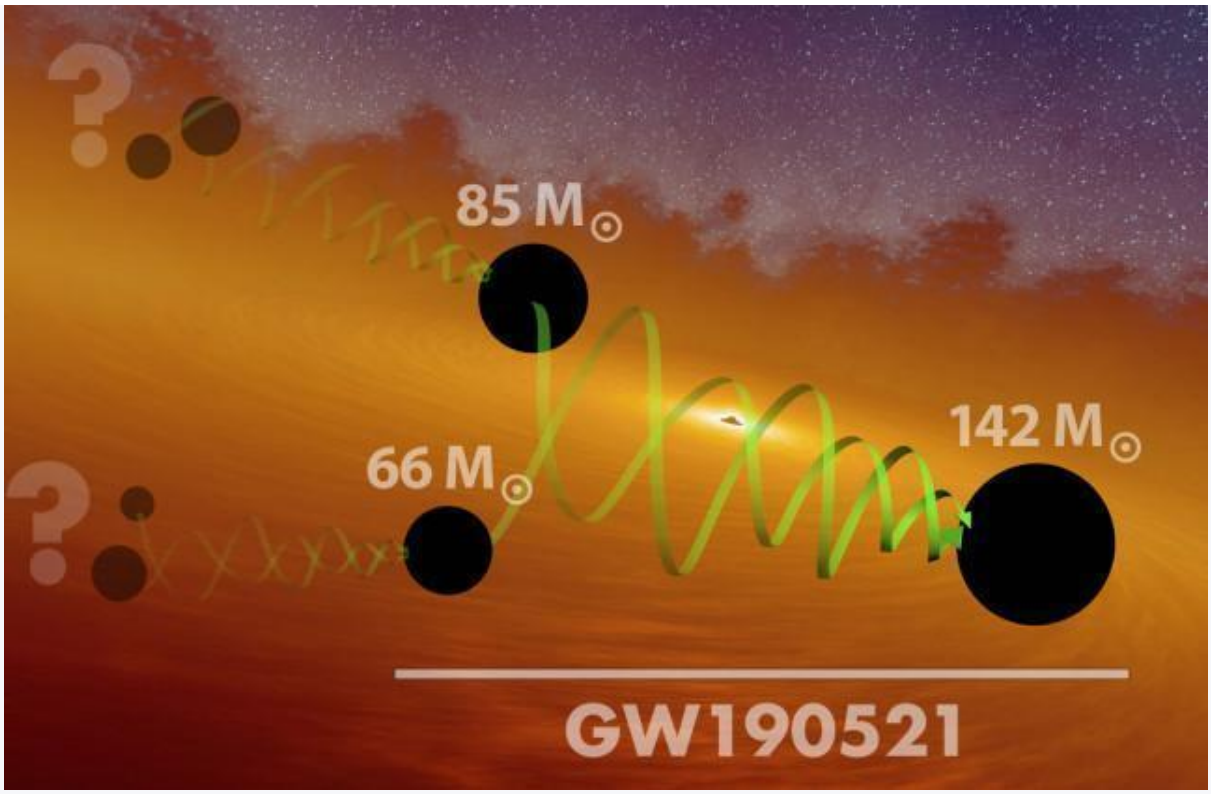
verandert. Maar de quantum-tijdpijl suggereert dat de kosmos zich zelfs na dit punt zal blijven ontwikkelen.

‘Er komt een thermodynamische hittedood, alles wordt een soep zonder structuur, maar het zal nog vele, vele miljarden jaren duren voordat maximale verstrengeling wordt bereikt’, zegt Chen. ‘Dat betekent dat er na de warmtedood van het universum eigenlijk nog veel interessante dingen staan te gebeuren.’

Als de verstrengelingsverleden-hypothese klopt, zou dit het bestaan van tijd objectief kunnen aantonen, zegt Al-Khalili. ‘Het voortstromen van de tijd, daarvan kun je heel gemakkelijk beargumenteren dat het subjectief is. Maar de richting van de tijd, zou ik zeggen, is fundamenteel. En daarom bestaat tijd echt’, zegt hij.

Virgo en LIGO detecteren signaal van een middelzwaar zwart gat

Een astrofysische primeur voor zwaartekrachtsgolfdetectoren Virgo en LIGO. De detector in Italië en de twee detectoren in de VS hebben direct bewijs gevonden voor het bestaan van middelzware zwarte gaten in het heelal. Dat maken de onderzoeksteams op uit een ruimtetijdtrilling die op 21 mei 2019 werd opgevangen.



Vandaag publiceren de onderzoekers twee artikelen met analyses van het signaal dat GW190521 is genoemd. De ruimtetijdtrilling is volgens die analyses afkomstig van twee versmeltende zwarte gaten van naar schatting 66 en 85 keer de massa van de zon. Daarbij ontstond een nieuw zwart gat van circa 142 maal de massa van de zon, een zogeheten middelzwaar zwart. Voor het bestaan van middelzware zwarte gaten was tot nu toe alleen indirect bewijs.

De versmelting vond 7 miljard jaar eerder plaats, diep in het heelal. Ongeveer 9 zonsmassa's werden in één klap omgezet in ruimtetijdtrillingen, die uiteindelijk ook de aarde zouden bereiken.

De geschatte massa's van de twee aanvankelijke zwarte gaten vallen buiten het massa-bereik dat volgens de theorie voor sterevolutie mogelijk is. Het resulterende zwarte gat van 142 zonsmassa's is het zwaarste dat is waargenomen met de detectoren van LIGO en Virgo.

De conclusie van de onderzoekers is belangrijk voor astrofysische theorieën over het ontstaan van zwarte gaten, zowel relatief lichte uit instortende opgebrande sterren als de superzware zwarte gaten in centra van veel melkwegstelsels. Een zwart gat is een defect in de ruimtetijd dat ontstaan rond een extreem compacte grote massa. Uit zo'n gebied kan zelfs licht niet ontsnappen.

Zwaartekrachtsgolven zijn trillingen van de ruimte zelf, die volgens Einsteins relativiteitstheorie ontstaan bij extreme botsingen van grote massa's. Zulke subtiele trillingen werden in 2015 voor het eerst gemeten met de twee LIGO-detectoren in de VS, in Washington en Louisiana. Ook Virgo van het ESO-laboratorium bij Pisa was bij de eerste waarneming betrokken.

Nikhef is een van de partners in het Virgo-project en Nikhef-onderzoekers als Sarah Caudill en Chris Van Den Broeck en hun post-docs werkte intensief mee aan de nieuwe publicaties. Detectoren voor zwaartekrachtsgolven meten met interferrerend laserlicht extreem kleine en kortdurende afstandsvariaties tussen grote spiegels op drie (Virgo) of vier (LIGO) kilometer afstand.

Botsingen van zwarte gaten in het heelal zijn sinds 2015 al veelvuldig waargenomen, maar nog nooit met zulke grote beginmassa's en zo'n zwaar eindresultaat. Het GW190521 signaal was daardoor uitzonderlijk kort en krachtig, vergeleken met andere waarnemingen. 'Een knal', noemt een van de onderzoekers de ruimtetijdtrilling.

James Webb-telescoop ziet oudste sterrenstelsel ooit: 13,5 miljard jaar oud

Wetenschappers hebben het oudste sterrenstelsel ooit ontdekt. Het licht scheen ongeveer 290 miljoen jaar na de oerknal en komt nu, ongeveer 13,5 miljard jaar later, in de buurt van de aarde.

Het licht is gezien met de Amerikaans-Europese ruimtetelescoop James Webb, die eind 2021 werd gelanceerd. Die is veel geavanceerder dan zijn voorgangers en kan daardoor veel verder terug in de tijd kijken. De ontdekkers waren eerst wat terughoudend, omdat het licht helderder was dan verwacht, maar uit metingen bleek de leeftijd te kloppen.

Sterrenstelsel JADES-GS-z14-0 is honderden miljoenen keren zo zwaar als onze zon, en ook dat verbaasde de wetenschappers. "Hoe kan de natuur zo'n helder, zwaar en groot stelsel maken in minder dan 300 miljoen jaar tijd?", vragen onderzoekers Stefano Carniani en Kevin Hainline zich af.

Cosmic dawn

De afgelopen twee jaar hebben wetenschappers de Webb-telescoop gebruikt om de cosmic dawn te onderzoeken. Dit 'kosmisch ochtendgloren' is de periode in de eerste paar honderd miljoen jaar na de oerknal, waarin de eerste sterrenstelsels ontstonden. Het oudste sterrenstelsel dat daarbij tot nu toe was gevonden was ongeveer 350 miljoen jaar na de oerknal ontstaan.

De telescoop is een samenwerking tussen de Amerikaanse NASA, de Europese ruimtevaartorganisatie ESA en de Canadese CSA. Het instrument heeft meer dan 10 miljard euro gekost en werd jaren later dan gepland naar de ruimte geschoten. Het is de grootste en krachtigste ruimtetelescoop ooit gebouwd

Ruimtetelescoop Webb: het leven begon veel eerder dan gedacht

De James Webb-ruimtetelescoop heeft een zeer interessante vondst gedaan. Iets dat erop wijst dat het leven waarschijnlijk veel eerder begon dan we dachten.

De James Webb-ruimtetelescoop is inmiddels al 2,5 jaar zeer succesvol in het schieten van plaatjes in de verste verte van ‘onze’ ruimte. Nu blijkt dat het zelfs iets op de gevoelige plaat heeft gelegd dat erop duidt dat het leven al eerder startte dan we altijd hebben gedacht. Wetenschappers gebruikten hiervoor de Near Infrared Spectrograph en zagen koolstof in een zeer oud sterrenstelsel.

Koolstof

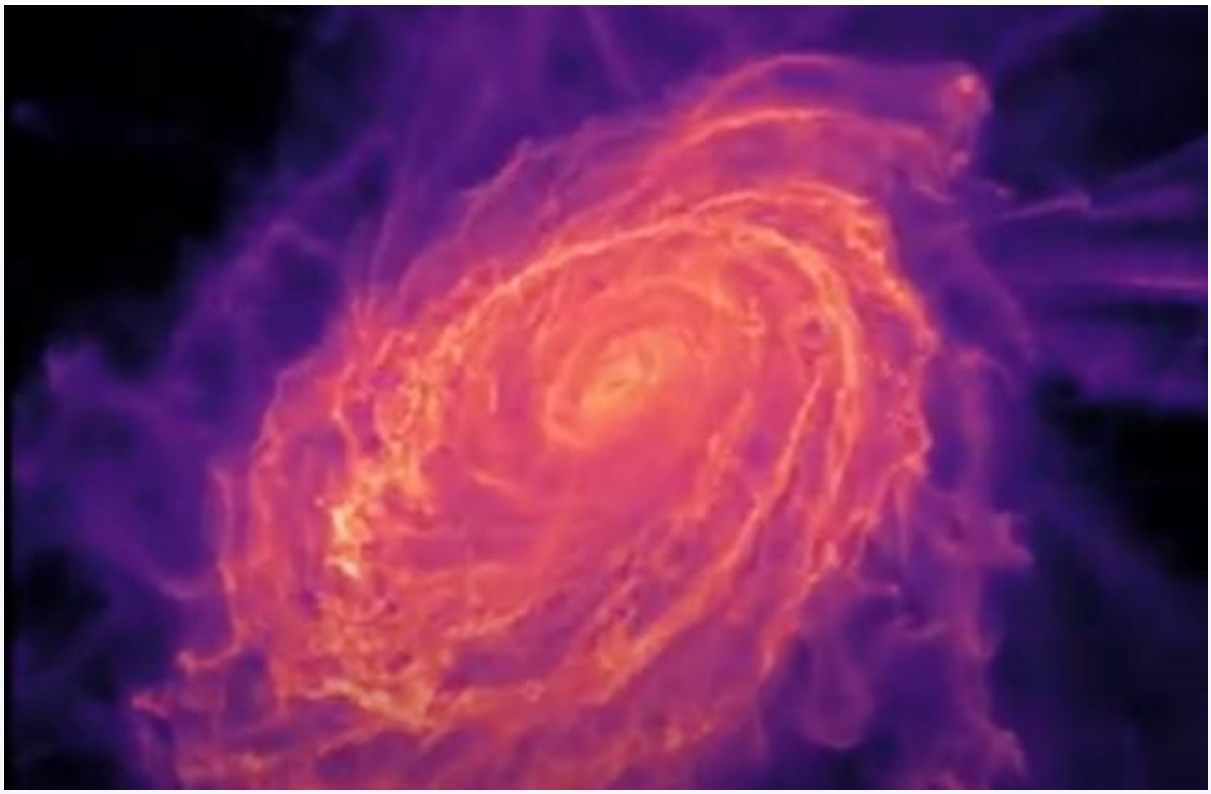
Een van de eerste sterrenstelsels die we ooit hebben ontdekt blijkt sporen van koolstof te bevatten. Koolstof is één van de belangrijkste ingrediënten voor leven. Maar opmerkelijk genoeg zou het betekenen dat leven verder terug is dan we dachten: 350 miljoen jaar na de Oerknal. Het gaat om het sterrenstelsel GS-z12. GS-z12 was het onderwerp van een studie naar de lichten van dit oude sterrenstelsel en dat licht splitste zodanig op dat wetenschappers niet anders kunnen concluderen dan dat er koolstof in het spel is. En koolstof is essentieel voor de vorming van organische moleculen.

Er werd eerst gedacht dat sterren heel vroeger meer zuurstof dan koolstof produceerden. Naast waterstof, helium en lithium zijn alle andere elementen waar het universum uit bestaat ooit gevormd in een ster. Door grote supernova’s (stervende sterren die ontploffen) werden die ingrediënten door het hele heelal verspreid. Althans, dat dachten experts. Nu blijkt door deze vondst in GS-z12 dat koolstof dus helemaal niet zo laat werd gevormd als we dachten. Het is misschien zelfs het oudste metaal van allemaal, stelt onderzoeker Maiolino van Cambridge.

Vroeger leven

Onderzoekers stellen: “"Omdat koolstof fundamenteel is voor het leven zoals wij dat kennen, is het niet per se waar dat het leven zich veel later in het universum moet hebben ontwikkeld. Misschien is het leven al veel eerder ontstaan, maar als er elders in het heelal leven is, is het misschien heel anders geëvolueerd dan hier op aarde.” Een heel spannende vondst dus, die ons niet was gelukt als we de ruimtetelescoop James Webb niet hadden.

De materieschijven rond zwarte gaten zijn veel ‘luchtiger’ dan gedacht



Computersimulatie van een actief superzwaar zwart gat, omringd door een accretieschijf. © Caltech/Phil Hopkins group

Een team van astrofysici is er voor het eerst in geslaagd om na te bootsen hoe het oergas in het vroege heelal opging in de materieschijven die zich rond superzware zwarte gaten vormden. Hun computersimulatie gooit de bestaande ideeën over dergelijke schijven overhoop, en maakt de weg vrij voor nieuwe ontdekkingen over hoe zwarte gaten en sterrenstelsels groeien en evolueren.

De nieuwe simulatie is de bekroning op het jarenlang werk van twee grote samenwerkingsverbanden die bij het California Institute of Technology (Caltech) zijn opgezet. De eerste, FIRE geheten (Feedback in Realistic Environments), richtte zich op de grotere schalen in het heelal en bestudeerde vragen zoals hoe sterrenstelsels zich vormen en wat er gebeurt wanneer sterrenstelsels met elkaar in botsing komen. De andere, STARFORGE, was ontworpen om veel kleinere schalen te onderzoeken, zoals de vorming van sterren in individuele gaswolken. Om het verschil in grootte tussen de twee samenwerkingen te overbruggen, moesten de Caltech-onderzoekers een simulatie ontwikkelen met een resolutie die meer dan 1000 keer groter was dan de beste die tot nu toe beschikbaar was op dit gebied.

Tot verrassing van de onderzoekers laat de simulatie zien dat magnetische velden een veel grotere rol spelen bij de vorming van de enorme materieschijven die zich rond superzware

zwarte gaten vormen, en deze ook voeden. ‘Onze theorieën vertelden ons dat de schijven zo plat als pannenkoeken zouden moeten zijn’, aldus Caltech-professor Phil Hopkins. ‘Maar we wisten dat dit niet klopte, omdat waarnemingen lieten zien dat de schijven in werkelijkheid dikker zijn. Onze simulatie hielp ons te begrijpen dat magnetische velden het schijfmateriaal stutten, waardoor het ‘luchtiger’ blijft.’

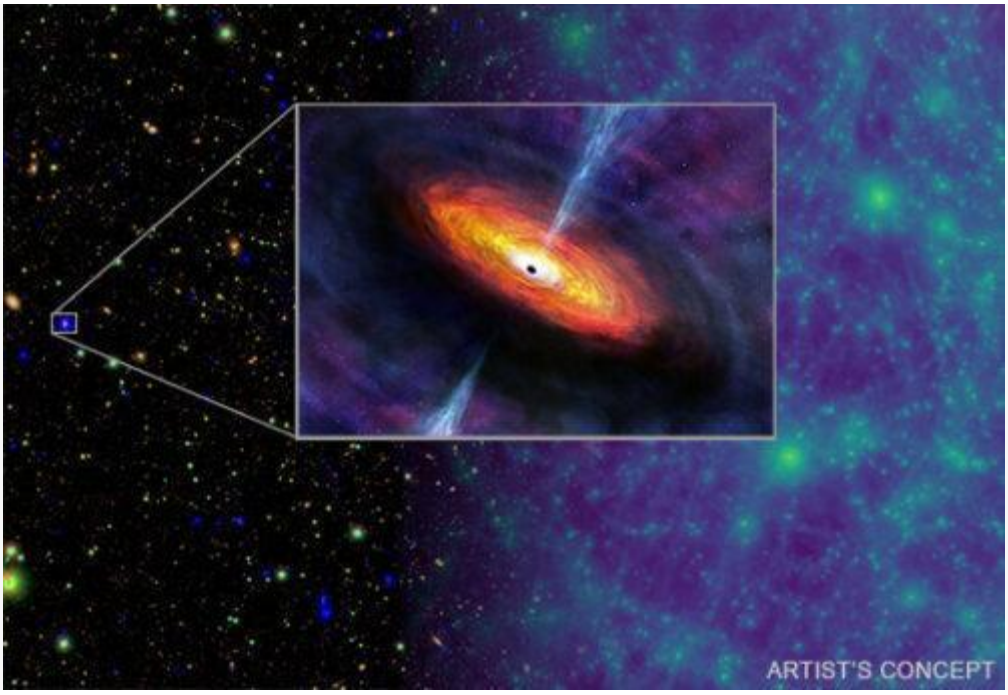
Astronomen weten al tientallen jaren dat het gas en stof dat door de enorme zwaartekracht van een zwart gat wordt aangetrokken, niet meteen naar binnen worden gezogen. In plaats daarvan hoopt het materiaal zich op in een zogeheten accretieschijf. En op het moment dat het materiaal in deze schijf op het punt staat om naar binnen te vallen, straalt het enorme hoeveelheden energie uit in de vorm van licht en andere soorten straling. Maar er is nog veel onbekend over deze actieve superzware zwarte gaten, beter bekend als quasars, en over de schijven die hen voeden.

In de jaren 70 namen wetenschappers aan dat thermische druk - de verandering in druk veroorzaakt door de veranderende temperatuur van het gas in de schijven - de belangrijkste oorzaak is dat deze schijven onder de enorme zwaartekracht die ze in de omgeving van het zwarte gat onderwinden overeind blijven. Wel erkenden ze dat ook magnetische velden daarbij een bescheiden rol zouden kunnen spelen. Uit de nieuwe simulatie blijkt echter dat de tegendruk van de magnetische velden van zulke schijven tienduizend keer zo groot is als de thermische druk van het gas. De schijven worden dus bijna volledig in stand gehouden door de magnetische velden.

Dit inzicht kan grote gevolgen hebben voor de voorspellingen die wetenschappers over accretieschijven doen, bijvoorbeeld omtrent hun massa en dikte, en hoe snel het materiaal van zo’n schijf zich naar het zwarte gat zou kunnen verplaatsen. (EE)

Meer duidelijkheid over hoe superzware zwarte gaten zo superzwaar

zijn geworden



Credit: ESA/XMM-Newton/Penn State/F. Zou et al.; Illustration: N.Trehnl (Penn State)

Bijna alle sterrenstelsels herbergen in hun centrum een superzwaar zwart gat, variërend in massa van enkele miljoenen zonsmassa (zoals ‘ons’ superzware zwarte gat Sgr A*) tot vele miljarden zonsmassa (zoals M87* alias Powehi in het centrum van M87). De vraag die vele sterrenkundigen al een tijdje bezig houdt is hoe die zwarte gaten zo zwaar zijn geworden en sinds de waarnemingen met Webb ook hóe ze zo vroeg in het heelal al zo superzwaar konden worden. Door waarnemingen gedaan met NASA’s Chandra, ESA’s XMM-Newton én de eROSITA röntgen-ruimtetelescopen te combineren met simulaties op supersnelle computers zijn sterrenkundigen van Penn State University (VS) meer te weten gekomen over de ontstaansgeschiedenis van superzware zwarte gaten. Met het drietal telescopen namen ze maar liefst 8.000 snel groeiende superzware zwarte gaten waar in een verzameling van 1,3 miljoen sterrenstelsels. Die combinatrie van waarnemingen en simulaties leverde meer inzicht op in de groei van zwarte gaten in de loop van twaalf miljard jaar, van 1,8 miljard jaar na de oerknal tot nu, 13,8 miljard jaar na de oerknal.

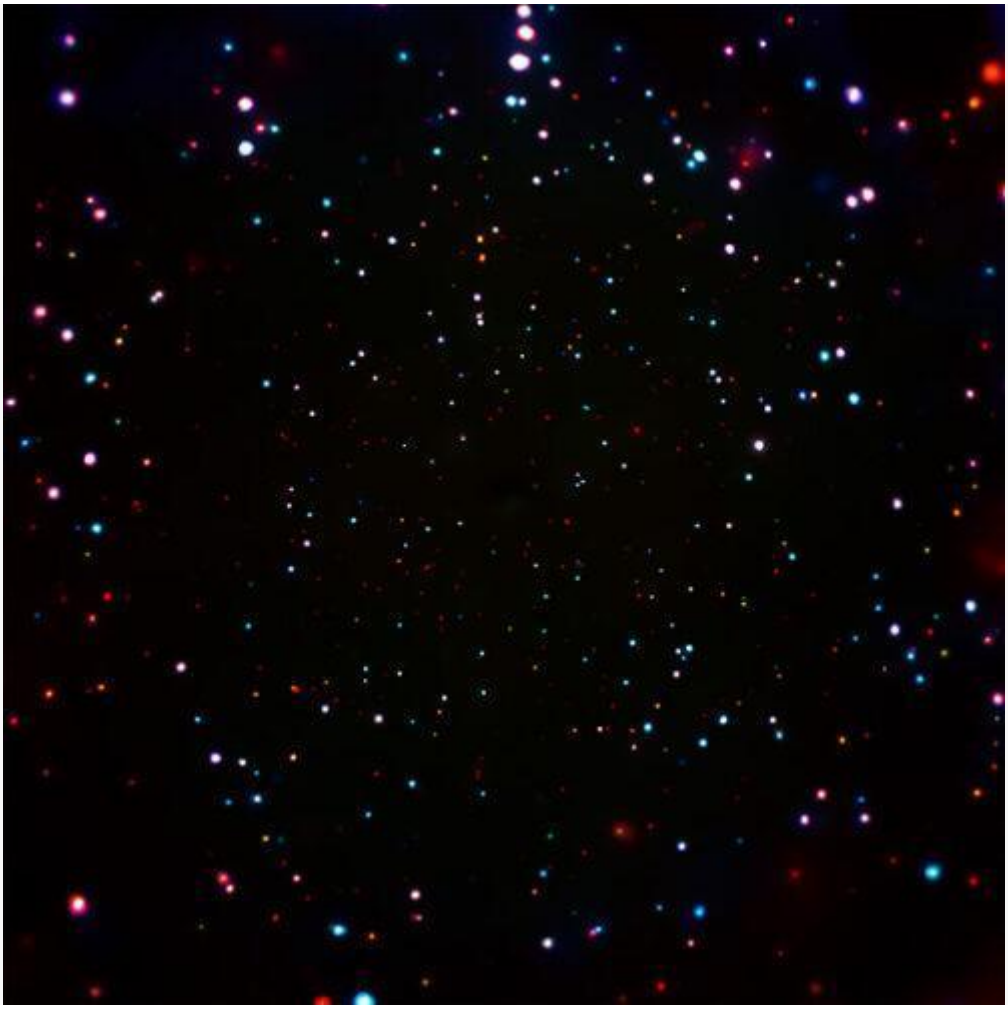


Foto van röntgenbronnen uit de Chandra Deep Field-South. Credit: X-ray: NASA/CXC/Univ. of Rome/E.Pezzulli et al.

Voor de groei zijn er ruwweg twee modellen. Bij de ene groeien zwarte gaten door de ‘accretie’ van materie, dat wil zeggen dat er vanuit de omgeving materie in de vorm van koud gas naar het zwarte gat toevalt. Het andere model veronderstelt dat zwarte gaten groeien door ‘mergers’, door botsingen van zwarte gaten en de hun omringende sterrenstelsels. Uit de studie komt naar voren dat de meeste groei op het conto komt van de accretie door materie, de botsingen komen op de tweede plaats. Wel zijn er in de afgelopen vijf miljard jaar meer botsingen gebeurd dan in de volorgaande periode. Zwarte gaten groeiden vooral in de vroege periode van het heelal en daardoor bereikte hun aantal zo’n zeven miljard jaar geleden een hoogtepunt.

Een enorme botsing in aantocht tussen de Melkweg en een ander sterrenstelsel?

In de oneindige ruimteweefsel van ons universum vinden er grootschalige gebeurtenissen plaats, vaak onzichtbaar voor onze ogen. De Melkweg, onze sterrenstelsel, vormt geen uitzondering op deze kosmische dynamiek. Met de nieuwe ontdekkingen van astronomen blijkt dat onze Melkweg mogelijk recentelijk betrokken is geweest bij een verbazingwekkende botsing. Het boeiende onderzoek naar dit fenomeen, weerspiegeld in de gegevens van de Gaia-missie en de uitgebreide observaties van galactische rimpels, biedt ons inzicht in de turbulente geschiedenis van de Melkweg. Bereid je voor op een reis door tijd en ruimte om een onverwacht hoofdstuk uit onze kosmische geschiedenis te ontdekken.

Indicaties van een recente kosmische botsing

Onderzoekers speuren voortdurend de hemel af op zoek naar geheimen die ons meer kunnen vertellen over onze plaats in het universum. In een verbazingwekkende onthulling blijkt dat de **Melkweg** daadwerkelijk het toneel is geweest van een confrontatie van aanzienlijke omvang. Astronomen hebben vervormingen gevonden die lijken op rimpelingen in de halo van ons sterrenstelsel, wat wijst op een vroegere impact met een massieve entiteit. Deze galactische plooien zijn als littekens van een tumultueuze gebeurtenis die de hoofdstukken van de kosmologie zoals we die kennen kan herschrijven.
Door de sporen van dergelijke stellaire rampen te analyseren, worden waardevolle aanwijzingen verkregen over de geschiedenis van de Melkweg. Met de focus op gravitationele verstoringen die zich manifesteren als rimpelingen in de halo, reconstrueren specialisten een dynamisch verleden dat veel complexer en beweeglijker is dan eerder werd gedacht.

Een onverwacht hoofdstuk in de geschiedenis van de Melkweg

Op basis van de opmerkelijk nauwkeurige gegevens van de **Gaia-missie** hebben astronomen kunnen vaststellen dat er minder dan **drie miljard jaar geleden** een monumentale botsing heeft plaatsgevonden. Dit cijfer schudt de eerdere veronderstellingen op en plaatst deze stellaire catastrofe veel dichter bij ons in de kosmische tijdlijn dan we dachten.
Bovendien werd deze onthulling gevolgd door een andere fascinerende ontdekking: veel van de **sterren** wiens banen niet overeenkwamen met de verwachte modellen, blijken eigenlijk getuigen te zijn van deze recente botsing. In plaats van overblijfselen van oude botsingen te zijn, markeren deze sterren een nieuw paradigma in ons begrip van de dynamiek van ons sterrenstelsel.

Het cruciale belang van de Gaia-missie

Het onderzoek dat is gepubliceerd in het **Monthly Notices of the Royal Astronomical**

Society benadrukt het alarmerende belang van de Gaia-missie. Door een gedetailleerde kaart van onze Melkweg en haar hemelse bewoners te maken, helpt het wetenschappers om de complexe geschiedenis van de Melkweg te ontcijferen. Dankzij dit baanbrekende project wordt het mogelijk om onvermoede galactische interacties te herkennen, wat nieuwe perspectieven biedt op de dynamische krachten die in ons universum werkzaam zijn.
De echo's van deze botsing, evenals andere mogelijke confrontaties die nog ontdekt moeten worden, benadrukken hoe essentieel de Gaia-missie is in de zoektocht naar het in kaart brengen van onze galactische geschiedenis.

Superzware zwarte gaten zijn 'groot geboren'

Superzware zwarte gaten in de kernen van sterrenstelsels groeien geleidelijk met de stelsels zijn mee. Althans, dat werd lange tijd aangenomen. Nu komen astronomen met een verrassende alternatieve verklaring.
De Webb-ruimtetelescoop heeft een sterrenstelsel waargenomen in een bijzonder vroeg stadium van het heelal. Het licht van dit stelsel, J1120+0641 genaamd, heeft er bijna net zo lang over gedaan om de aarde te bereiken als het heelal nodig heeft gehad om zo groot te worden als het nu is. Maar op de een of andere manier had het superzware zwarte gat in zijn centrum al een massa van meer dan een miljard zonsmassa's.
Sterrenstelsels zijn enorm veranderd de afgelopen 13,8 miljard jaar (de leeftijd van het heelal). Ze zijn groter geworden en hebben meer massa gekregen – ofwel door gas uit hun omgeving aan te trekken of door zo nu en dan samen te smelten.
Lang werd aangenomen dat de superzware zwarte gaten in de kernen van sterrenstelsels geleidelijk met de stelsels zijn meegegroeid. Maar zwarte gaten kunnen niet willekeurig snel groeien. Materie die naar een zwart gat toe stroomt, vormt een kolkende, hete 'accretieschijf' daaromheen. En als dat bij een superzwaar zwart gat gebeurt, resulteert dit in een zogeheten actieve galactische kern. De helderste van deze objecten, quasars geheten, behoren tot de helderste objecten in het heelal. Maar deze helderheid beperkt de hoeveelheid materie die op het zwart kan vallen: licht oefent namelijk druk uit die de toestroom van materie afremt.
Daarom waren astronomen verrast toen ze bij waarnemingen van verre quasars heel jonge zwarte gaten ontdekten met massa's van 10 miljard zonsmassa's. Daar zijn allerlei verklaringen voor bedacht, bijvoorbeeld dat de vroegste zwarte gaten veel efficiënter waren in het aantrekken van gas dan hun huidige soortgenoten. Of dat de aanwezigheid van stof rond een quasar een vertekend beeld heeft van diens massa.
Om te bepalen welke van deze verklaringen de juiste is, heeft een team onder leiding van Sarah Bosman van het Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA, Duitsland) J1120+0641 in januari 2023 tweeënhalf uur lang bekeken met de Webb-ruimtetelescoop – niet om een foto van het verre stelsel te maken, maar om diens infraroodspectrum vast te leggen.

‘Voedingsmechanisme’

Uit de waarnemingen blijkt dat het superzware zwarte gat in J1120+0641 niet uitzonderlijk snel groeit, wat erop wijst dat hij gebruik maakt van hetzelfde ‘voedingsmechanisme’ als zijn huidige soortgenoten. Het enige verschil is dat het stof rond de verre quasar ongeveer honderd graden warmer is dan dat rond nabijere quasars. Maar er is geen aanwijzing gevonden dat de quasar door uitzonderlijk veel stof omgeven is.
‘Al met al maken de nieuwe waarnemingen het mysterie alleen maar groter: vroege quasars zien er verbazingwekkend normaal uit’, concludeert Bosman. ‘Het maakt niet uit op welke golflengten we ze waarnemen, ze zien er in alle kosmische tijdperken vrijwel hetzelfde uit.’
Volgens Bosman lijkt het er sterk op dat de vroege superzware zwarte gaten simpelweg ‘groot geboren’ zijn. Ze zijn niet ontstaan uit de overblijfselen van de eerste sterren en vervolgens heel snel gegroeid, maar hebben een beginmassa’s van minstens honderdduizend zonsmassa’s gehad – waarschijnlijk door het samentrekken van omvangrijke gaswolken.

De relativiteitstheorie van Albert Einstein voorspelt dat een zwart gat kan ontstaan uit niets anders dan licht. Maar als je quantumeffecten in acht neemt, blijkt dat toch niet mogelijk**.**
Het lijkt erop dat het niet mogelijk is om zwarte gaten te laten ontstaan uit alleen maar licht. Dat zou wel moeten kunnen als we de theorieën van Albert Einstein tot op de letter volgen. Die stellen immers dat energie en massa één en hetzelfde zijn, een relatie die is samengevat in de beroemde formule $E = mc^2$. Als dat zo is, moet het mogelijk zijn om een gebied van licht te maken met zo’n hoge dichtheid dat het ineenstort tot een zwart gat – net zoals dat met massa kan gebeuren. Nu blijkt dat quantumeffecten hier in het geval van licht een stokje voor steken.

Kugelblitz

Het idee dat een zwart gat kan ontstaan door de ineenstorting van licht bestaat al tientallen jaren. Zo’n zwart gat staat bekend onder de naam ‘kugelblitz’. Natuurkundigen hebben zich erover gebogen of deze objecten in een laboratorium gemaakt kunnen worden, en zelfs of ze gebruikt kunnen worden om ruimteschepen van energie te voorzien.
Natuurkundige Eduardo Martín-Martínez van de Universiteit van Waterloo in Canada en zijn collega’s gooien nu roet in het eten. Zij stellen dat als je quantumeffecten in acht neemt, deze vreemde objecten niet kunnen ontstaan. ‘Onder de huidige omstandigheden van ons universum is het onmogelijk om een kugelblitz op natuurlijke of kunstmatige wijze te produceren, zelfs niet met superkrachtige lasers die nog niet eens bestaan’, zegt Martín-Martínez. Ze vatten hun idee samen in een wetenschappelijk artikel dat online is verschenen, maar nog niet is getoetst door onafhankelijke experts.

Schwingereffect

Het quantumverschijnsel dat de spelbreker is, heet het Schwingereffect. Door dit effect kan er in een sterk elektromagnetisch veld spontaan materie ontstaan. Dat gebeurt bijvoorbeeld wanneer je met een intense lichtbundel een krachtig veld opwekt en dat vervolgens in een klein gebied concentreert. In dat veld zullen dan spontaan paren van elektronen en positronen verschijnen. Deze deeltjes stelen een beetje energie van het elektromagnetisch veld waaruit ze zijn voortgekomen.
De onderzoekers ontdekten dat de grote lichtconcentratie die nodig is om een kugelblitz te maken een enorme hoeveelheid elektronen en positronen zou opleveren. Deze deeltjes

zouden wegracen van de plek waar ze ontstaan, en daarmee voorkomen dat zich daar een zwart gat vormt. ‘Dit effect belemmert het ontstaan van het zwarte gat nog voordat [het] ook maar in de buurt komt van een zwart gat’, zegt teamlid José Polo-Gómez.
De onderzoekers ontdekten dat deze regel opgaat voor allerlei zwarte gaten: alles met een straal tussen 100.000 kilometer en 10^{-29} meter, biljoenen keren kleiner dan een proton. ‘Het bereik van lengteschalen dat wordt uitgesloten is enorm, dus ik denk dat het alle realistische scenario’s omvat, tenminste volgens ons huidige begrip van de natuurkunde’, zegt zwarte-gaten-expert Elizabeth Winstanley van de Universiteit van Sheffield in het Verenigd Koninkrijk. Zij was niet betrokken bij het onderzoek.

Oergaten

De enige mogelijke uitzondering stamt uit het vroege heelal, toen de ruimtetijd zich nog anders gedroeg dan nu. De verschillen tussen de ruimtetijd van toen en nu staan het ontstaan van een kugelblitz toe.
Het onderzoek sluit ook niet de mogelijkheid uit dat een zwart gat ontstaat uit materie en vervolgens verder groeit door licht in te vangen. ‘Als een zwart gat eenmaal bestaat, kun je er zeker licht in gooien’, zegt Martín-Martínez. ‘Maar zodra het de waarnemingshorizon van een zwart gat voorbij is, is het geen licht meer. De algemene relativiteitstheorie stelt dat er geen manier is om te weten waar een zwart gat van gemaakt is.’
Dit betekent ook dat een kugelblitz uit het vroege heelal er precies hetzelfde uitziet als een gewoon zwart gat. We hebben dus geen manier om deze twee van elkaar te onderscheiden.
‘De vergelijkingen van de algemene relativiteitstheorie hebben veel exotische oplossingen’, zegt Winstanley. ‘[Dit soort onderzoek] is belangrijk om te bepalen welke oplossingen realistisch zijn en welke oplossingen we kunnen uitsluiten omdat ze in het werkelijke universum niet kunnen ontstaan.’

Kan zwaartekracht bestaan zonder massa?

Isaac Newton beschreef zwaartekracht in de 17e eeuw als een aantrekkingskracht tussen objecten met massa. Een appel valt naar beneden omdat de massa van de aarde eraan trekt (en omgekeerd). Later beschreef Albert Einstein in zijn algemene relativiteitstheorie dat zwaartekracht het gevolg is van de kromming van de ruimtetijd. Ook die kromming ontstaat onder invloed van massa.
Zwaartekracht en massa lijken dus onlosmakelijk met elkaar verbonden. Of toch niet? Deze kracht kan ook bestaan zonder massa, zegt astrofysicus Richard Lieu van de Universiteit van Alabama in Huntsville in een wetenschappelijke publicatie. Dat zou bovendien het bestaan van donkere materie overbodig kunnen maken.

Donkere materie

Donkere materie is een nog altijd onontdekt goedje waar ruim tachtig procent van de massa in het heelal uit lijkt te bestaan. Deze extra donkere massa is nodig omdat de bekende, zichtbare massa niet genoeg zwaartekracht uitoefent om sterrenstelsels en sterrenstelselclusters bij elkaar te houden.
Natuurkundigen zoeken al decennialang naar donkere materie. Tot nu toe is die zoektocht tevergeefs. Daardoor gaan wetenschappers op zoek naar andere verklaringen. Sommigen stellen voor dat de zwaartekrachtwetten van Einstein op grote schaal niet kloppen en aangepast moeten worden.
Lieu biedt een ander alternatief. Hij gooit de wiskundige vergelijkingen van Einstein niet overboord, maar liet zich erdoor inspireren. Hij stelde een versimpelde versie ervan op die een ruimtetijdkrommende zwaartekracht toestaat zonder massa. Hij zegt over zijn voorstel dat het ‘gedreven wordt door mijn frustratie over de status quo, namelijk de notie van het bestaan van donkere materie ondanks het ontbreken van enig direct bewijs.’

Negatieve massa

Het voorstel van Lieu leunt op twee concepten: topologische defecten en negatieve massa. Negatieve massa is het tegenovergestelde van gewone, positieve massa, net zoals negatieve en positieve lading elkaars tegenpool zijn. Zou je een bal met negatieve massa een duw geven, dan beweegt hij naar je toe in plaats van van je af. Het bestaan van negatieve massa is nooit aangetoond, maar het duikt vaker op in natuurkundige theorieën.
Topologische defecten zijn kleine foutjes die met name ontstaan bij faseveranderingen, bijvoorbeeld als een vloeistof verandert in een vaste stof. In het heelal hebben ook faseveranderingen plaatsgevonden, bijvoorbeeld kort na de oerknal, toen er atomen ontstonden uit de hete plasmasoep die daarvoor de ruimte vulde.
Volgens Lieu zouden tijdens een faseverandering topologische defecten in de de vorm van een reeks bolvormige schillen ontstaan kunnen zijn bij gebieden met massa, waar later sterrenstelsels en clusters zouden vormen. Het zou gaan om een reeks van concentrische schillen die naar buiten toe steeds groter worden, zoals de kringen die ontstaan als je een steentje in een vijver gooit.

Schillen

‘De schillen bestaan uit een dunne binnenlaag van positieve massa en een dunne buitenlaag van negatieve massa. De totale massa van beide lagen – en dat is alles wat je

zou kunnen meten, qua massa – is precies nul', zegt Lieu. 'Maar als een ster op deze schil ligt, ondervindt hij een grote zwaartekracht die hem naar het centrum van de schil trekt.' Daardoor lijkt het alsof er extra massa moet zijn, in de vorm van donkere materie.
Lieu erkent dat zijn idee nog 'erg suggestief' is. Het zal het bestaan van donkere materie nog niet zomaar ontkrachten. Ook is het nog niet duidelijk hoe zijn theorie getest kan worden. Maar, zegt hij, 'het is het eerste bewijs dat zwaartekracht kan bestaan zonder massa.'

Rode-stip sterrenstelsels leggen een bom onder kosmische theorieen

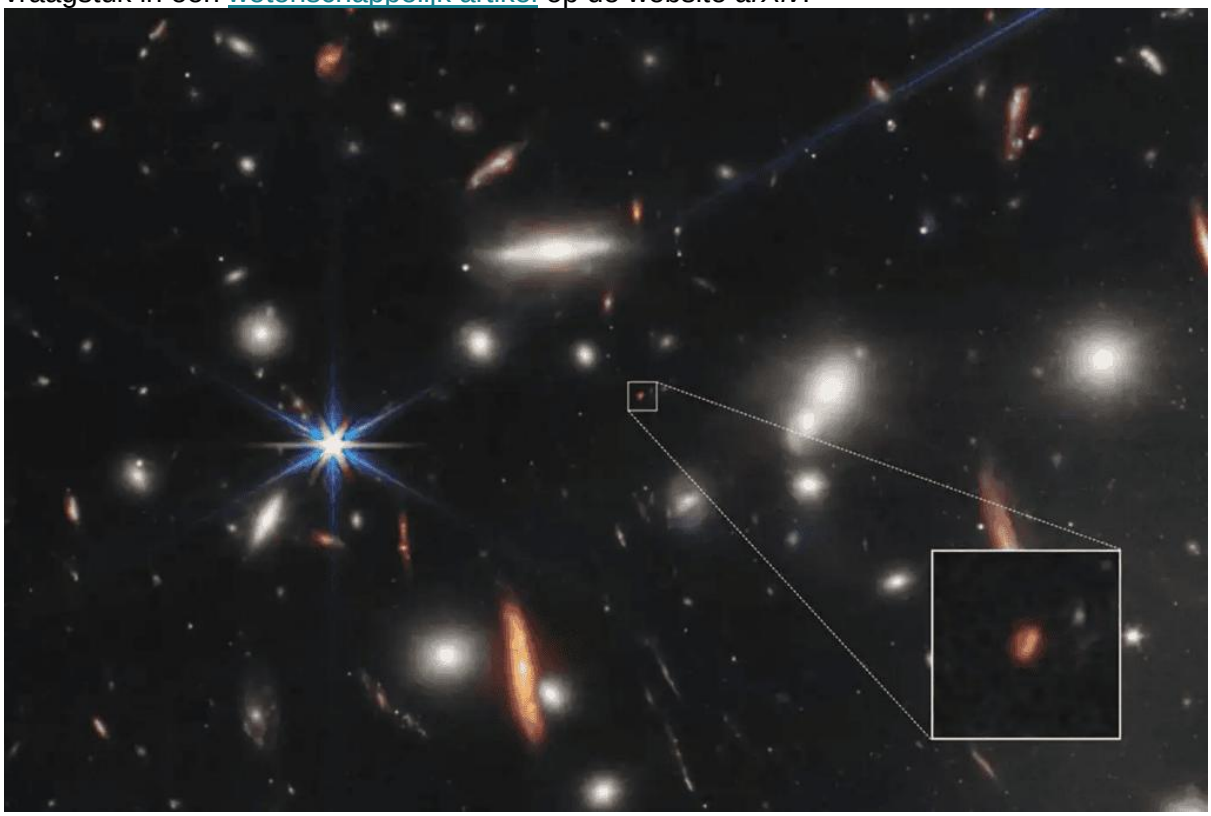
De James Webb-ruimtetelescoop heeft honderden verre, vreemde sterrenstelsels waargenomen. Deze stelsels produceren onmogelijk veel sterren of herbergen onmogelijk grote zwarte gaten.
Ruimtelescoop James Webb heeft honderden 'kleine rode stippen' ontdekt die astronomen voor een raadsel stellen. Het lijken compacte sterrenstelsels die ofwel onmogelijk veel sterren bevatten, of veel te grote zwarte gaten. Beide mogelijkheden zijn in strijd met de huidige theorieën over hoe sterrenstelsels ontstaan.
De sterrenstelsels kregen de bijnaam *little red dots*, ofwel 'kleine rode stippen'. Ze bevinden zich diep in het heelal. Omdat licht dat van ver moet komen een lange tijd onderweg is geweest, zien we deze stelsels in de periode dat het heelal nog jong was.



Het bestaan van deze rode stelsels was op zich al een verrassing, maar nu onderzoekers zich in de meetgegevens verdiepen, komt er een aantal grote vragen bovendrijven. De eigenschappen van deze sterrenstelsels lijken namelijk onmogelijk te rijmen met wat we dachten te weten over de kosmos.

Veel te fel

‘Er zijn heel veel van deze kleine rode stippen en sommige zijn zo fel, zo helder, dat ze onze verwachtingen tarten’, zegt astronoom Hollis Akins van de Universiteit van Texas in de Verenigde Staten. Met zijn collega’s testte hij twee mogelijke theorieën over de helderheid van de sterrenstelsels: het felle licht kan afkomstig zijn van sterren of van materiaal dat in superzware zwarte gaten valt. Die grote zwarte gaten zouden zich in het midden van elk sterrenstelsel bevinden.
Beide opties zijn niet zonder problemen. Als het om sterlicht gaat, dan moeten deze oude sterrenstelsels zoveel sterren produceren, in zo’n hoog tempo, dat het hedendaagse heelal veel meer massa zou moeten bevatten dan het nu doet. Als het licht afkomstig is van het materiaal rond zwarte gaten, dan zijn die zwarte gaten veel groter dan we verwachten op basis van het formaat van de stelsels waar ze in zitten. De onderzoekers publiceerden het vraagstuk in een wetenschappelijk artikel op de website *arXiv*.



Astronomen hebben geen idee waarom de rode stippen zo helder zijn. Beeld: NASA, ESA, CSA & STScI.

Honderd keer te groot

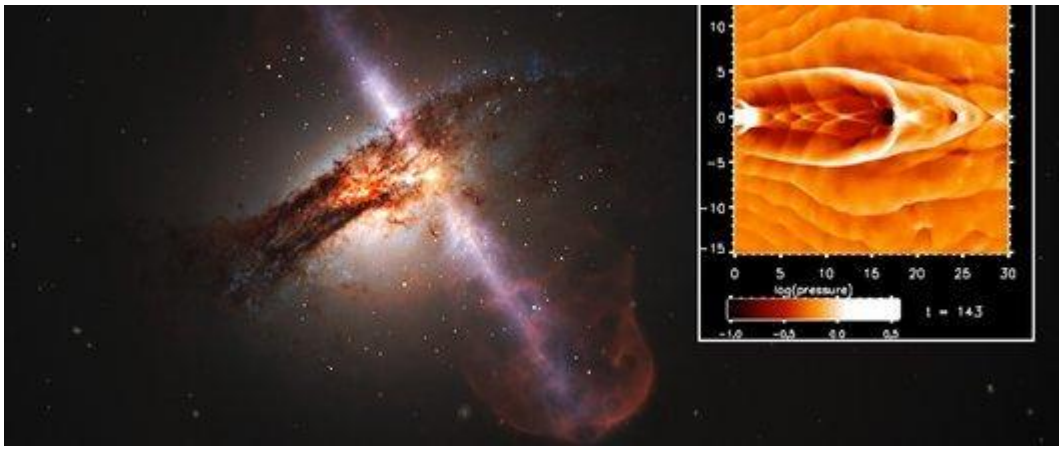
‘Misschien is het een mix van beide – maar zelfs als je aanneemt dat de helft van het licht afkomstig is van superzware zwarte gaten en de andere helft van sterren, krijg je nog steeds een probleem omdat de bronnen echt overal zijn’, zegt astronoom en teamlid Caitlin Casey. ‘Het is echt een raadsel.’
Zelfs als slechts 1 procent van het licht van de sterrenstelsels afkomstig is van zwarte gaten, zijn de zwarte gaten nog steeds tien tot honderd keer te groot voor hun sterrenstelsels. Dat stelden Harvard-sterrenkundige Fabio Pacucci en zijn collega’s vast, op basis van wat we weten over het nabije heelal. Dit kan betekenen dat superzware zwarte gaten zich extreem snel hebben gevormd in het vroege heelal – dat is de enige manier waarop ze zo groot kunnen zijn geworden.

‘Het is een typische kip-of-ei-vraag: ontstond het sterrenstelsel eerst en stortte het zwarte gat erbinnen vervolgens in, of ontstond het zwarte gat eerst en verzamelde het sterrenstelsel zich er vervolgens omheen?’, zegt Pacucci. De gigantische massa’s van de zwarte gaten wijzen op de tweede optie, zegt hij.

Puzzelstukjes

‘Geen van de puzzelstukjes past goed in de gangbare modellen van sterrenstelsels en zwarte gaten. Dat betekent dat we waarschijnlijk iets fundamenteels over het hoofd zien’, zegt sterrenkundige Bingjie Wang van de staatsuniversiteit van Pennsylvania in de VS. ‘Maar niemand heeft nog een overtuigende nieuwe theorie naar voren gebracht.’
De kleine rode stippen hebben ook verschillende andere vreemde eigenschappen die nog om een verklaring verlegen zitten. Voorbeelden daarvan zijn de hoge leeftijd van hun sterren en hoe weinig röntgenstraling ze uitzenden.
‘Het is echt spannend om een soort object te hebben waarvan we gewoon niet weten hoe we het moeten verklaren’, zegt sterrenkundige Jenny Greene van Princeton-universiteit in de VS. ‘Maar er zijn veel mogelijke oplossingen.’ Als oude zwarte gaten bijvoorbeeld iets sneller materie verslinden dan hun hedendaagse tegenhangers doen, kan dat een deel van het vraagstuk oplossen, zegt ze.
De James Webb-telescoop zal de komende jaren meer waarnemingen van kleine rode stippen doen. Die moeten wetenschappers helpen om de puzzelstukjes in elkaar te passen.

Zwarte gaten houden sterrenstelsels in leven



Een sterrenstelsel met twee jets, aangedreven door een superzwaar zwart gat. Inzet: computersimulatie van de jets. *(ESA/Hubble, L. Calçada (ESO)/C Richards/MD Smith/University of Kent)*
Sterrenstelsels ontlopen een vroege dood omdat ze een ‘hart’ en ‘longen’ hebben die hun ‘ademhaling’ regelen en voorkomen dat ze alsmaar doorgroeien. Als dat niet ziet zo was, zou het heelal veel sneller verouderd zijn dan nu het geval is, en zouden we uitsluitend enorme ‘zombie’-sterrenstelsels om ons heen zien, vol met dode en stervende sterren. Dat

is de conclusie van een nieuwe studie die vandaag is gepubliceerd in de *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.

Het doel van de studie was om een verklaring te zoeken voor het feit dat de huidige sterrenstelsels niet zo groot zijn als astronomen zouden verwachten. Iets lijkt de groei van de stelsels te smoren, door de hoeveelheid gas die ze aantrekken om in sterren om te zetten te beperken. Dit betekent dat in plaats van eindeloos door te blijven groeien met hulp van de onvermijdelijk aantrekkende zwaartekracht, er in de stelsels iets zit dat weerstand biedt.

Astrofysici van de Universiteit van Kent (VK) denken nu te weten wat dat 'iets' is. Ze suggereren dat de groei van sterrenstelsels wordt bepaald door de manier waarop ze 'ademen'. In hun analogie vergelijken de onderzoekers het superzware zwarte gat in het centrum van een sterrenstelsel met het hart, en diens supersonische 'jets' van gas en straling met de luchtwegen die een tweetal longen voeden. Ze baseren dit op computersimulaties.

Pulsaties van het zwarte gat kunnen schokfronten veroorzaken die langs de beide assen van de jet heen en weer gaan, net zoals het borstmembraan in het menselijk lichaam op en neer beweegt in de borstholte om de longen op te blazen en weer leeg te laten lopen. Dit kan ertoe leiden dat de energie van de jet zich ver verspreid over de omgeving, net zoals wij warme lucht uitademen. Dit proces vertraagt de aantrekking van gas en daarmee ook de groei van het sterrenstelsel.

Het verschijnsel is vergelijkbaar met de schokgolven die ontstaan bij het openen van een fles champagne of het lanceren van een raket. 'We realiseerden ons dat er een manier moest zijn waarop de jets het 'lichaam' – het gas rondom het sterrenstelsel – konden ondersteunen en dat is wat we in onze computersimulaties hebben ontdekt,' aldus promovendus Carl Richards die de theorie heeft ontwikkeld. (EE)

Deze stralen uit een zwart gat zijn zo groot dat je er 140 Melkwegstelsels op een rij naast elkaar zou kunnen leggen

Astronomen hebben een spectaculaire ontdekking gedaan. Ze hebben de grootste stralen ooit waargenomen, afkomstig van een superzwaar zwart gat. Deze kosmische fonteinen strekken zich uit over een onvoorstelbare afstand van maar liefst 23 miljoen lichtjaar. Dat is zo groot dat je er 140 Melkwegstelsels achter elkaar zou kunnen leggen.
Het nieuw ontdekte systeem heeft de bijnaam 'Porphyrion' gekregen, vernoemd naar een reus uit de Griekse mythologie. En dat is niet zonder reden. "Dit paar is niet slechts zo groot als een zonnestelsel of de Melkweg; we hebben het over 140 Melkwegdiameters in totaal", zegt Martijn Oei, hoofdauteur van een studie die in vakblad Nature werd gepubliceerd waarin de bevindingen worden gerapporteerd. "De Melkweg zou een klein stipje zijn in deze twee gigantische uitbarstingen."

10.000 jets

Porphyrion is niet zomaar een toevalstreffer. De ontdekking maakt deel uit van een grootschalig onderzoek met de Europese LOFAR-radiotelescoop. Tot ieders verbazing bracht deze studie meer dan 10.000 van dit soort gigantische structuren aan het licht. "Reuzenjets waren al bekend voordat we met de campagne begonnen, maar we hadden geen idee dat het er zoveel zouden zijn", zegt mede-auteur Martin Hardcastle. "Meestal als we een nieuwe observatiemogelijkheid krijgen, zoals LOFAR's combinatie van een breed gezichtsveld en een zeer hoge gevoeligheid voor uitgebreide structuren, vinden we iets nieuws, maar het was toch heel spannend om zoveel van deze objecten te zien opduiken."

7,5 miljard lichtjaar ver

Het team gebruikte verschillende telescopen om de thuisbasis van Porphyrion te achterhalen. Ze ontdekten dat de jets afkomstig zijn van een massief sterrenstelsel op 7,5 miljard lichtjaar afstand. Verrassend genoeg blijkt het zwarte gat in een zogenaamde 'stralingsmodus' te verkeren, een toestand waarvan men dacht dat die geen zulke enorme jets kon produceren. Wat deze ontdekking extra bijzonder maakt, is dat Porphyrion ons een uniek kijkje geeft in het vroege heelal. De jets dateren uit een tijd toen het universum pas 6,3 miljard jaar oud was, minder dan de helft van zijn huidige leeftijd. In die periode zag de 'kosmische web', het netwerk van filamenten dat sterrenstelsels met elkaar verbindt, er heel anders uit dan nu.

Mogelijk nog veel gelijkaardige structuren

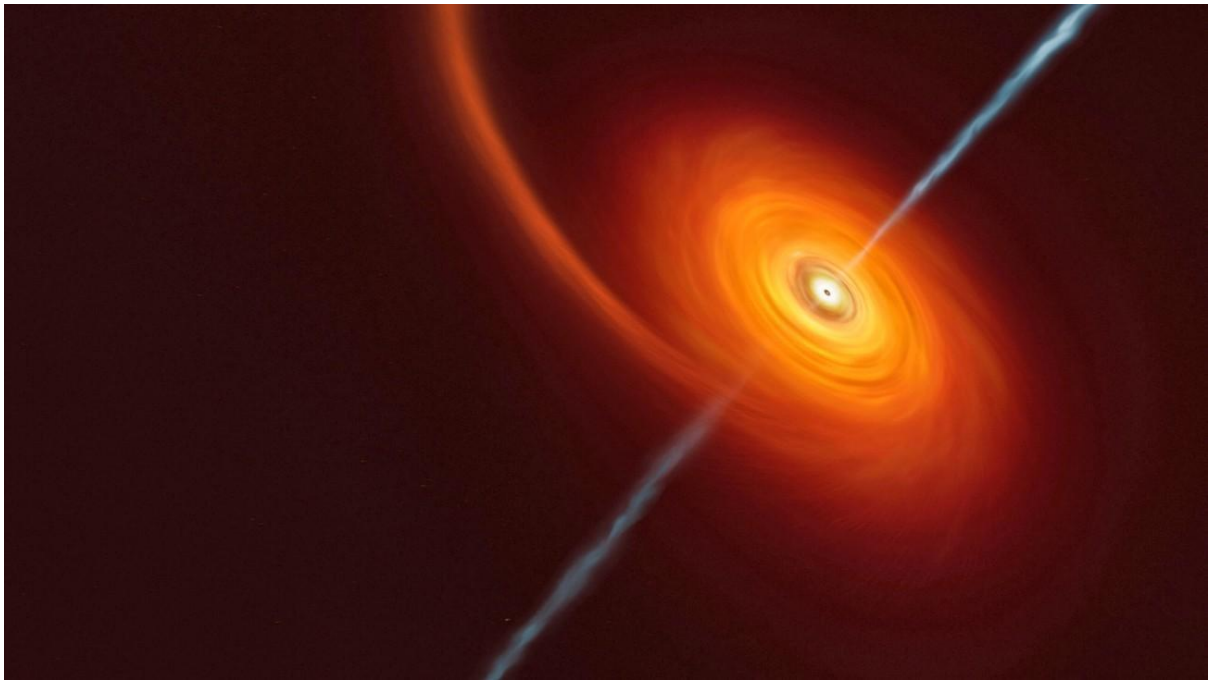
"Astronomen geloven dat sterrenstelsels en hun centrale zwarte gaten samen evolueren, en een belangrijk aspect hiervan is dat jets enorme hoeveelheden energie kunnen verspreiden die de groei van hun gaststelsel en andere sterrenstelsels in hun buurt beïnvloeden", zegt co-auteur van de studie George Djorgovski. "Deze ontdekking laat zien dat hun effecten veel verder weg kunnen reiken dan we dachten."

Volgens de onderzoekers is de kans groot dat er nog veel gelijkaardige structuren ontdekt gaan worden. “We kijken misschien naar het topje van de ijsberg”, zegt Oei. “Ons LOFAR-onderzoek besloeg slechts 15 procent van de hemel. En de meeste van deze reuzenjets zijn waarschijnlijk moeilijk te zien, dus we denken dat er nog veel meer van deze kolossen zijn.”

Nog veel vragen over de impact van megajets

Hoe deze jets zo ver buiten hun thuissterrenstelsel kunnen reiken zonder uiteen te vallen, blijft voorlopig een mysterie. Hardcastle vermoedt dat er een ongewoon langdurige en stabiele aanvoer van materie naar het zwarte gat nodig is, mogelijk wel een miljard jaar lang. Oei wil nu onderzoeken hoe deze megastructuren hun omgeving beïnvloeden. Hij is vooral geïnteresseerd in de rol die ze spelen bij het verspreiden van magnetisme door de kosmos. “Het magnetisme op onze planeet zorgt ervoor dat leven kan gedijen, dus we willen begrijpen hoe het is ontstaan. We weten dat magnetisme het kosmische web doordringt, zich een weg baant naar sterrenstelsels en sterren, en uiteindelijk naar planeten, maar de vraag is: waar begint het? Hebben deze reuzenstralen magnetisme door de kosmos verspreid?”

Het duistere hart van de zon



Materie die in een zwart gat verdwijnt, vormt een schijf die wel 10 miljoen graden heet kan worden. Ook een zwart gat in het hart van de zon zou zo hitte produceren. Op termijn zou dat proces zelfs de belangrijkste energiebron van de ster worden.

Van binnenuit

De zwarte gaten waar je het vaakst over hoort, zijn de exemplaren die achterblijven als een ster veel zwaarder dan de zon is geëxplodeerd als supernova. Zulke gaten wegen minstens enkele keren zoveel als onze zon. Daarnaast zijn er de superzware zwarte gaten in de centra van sterrenstelsels, die tot miljarden zonsmassa's zwaar kunnen zijn. Maar mogelijk zijn er ook mini-gaatjes die al ontstonden in de eerste seconde na de oerknal. Deze *primordial black holes* of oerzwarte gaten zouden sindsdien door het universum hebben gezworven. En daarvan zou er ook eentje in de zon kunnen zijn beland toen die zo'n 4,5 miljard jaar geleden ontstond.
Dat is een extreem onwaarschijnlijk, maar niet totaal onmogelijk scenario, zegt De Mink. "Doordat kleine zwarte gaten vrij snel bewegen, is het erg lastig voor een vormende ster om er een in zich op te nemen. Daardoor is onduidelijk hoeveel sterren er zijn met kleine zwarte gaten erin – en of ze überhaupt wel bestaan. Maar als wetenschapper is het toch belangrijk om je af te vragen: wat als dit wel af en toe gebeurt? Hoe kun je zo'n ster dan herkennen?"
Stel eerst dat de zon een zwart gat had opgeslokt zwaarder dan 20 biljard ton. (Dat klinkt als heel veel, maar het is een honderdmiljardste van de massa van de zon zelf.) In dat geval was de zon ofwel veel helderder geweest, ofwel was hij al lang geleden door het gat van binnenuit opgevreten, zo blijkt uit de computersimulaties van De Mink en collega's. We weten dus, met andere woorden, dat áls de zon miljarden jaren geleden een zwart gat in zich heeft opgenomen, dat minder moet hebben gewogen dan 20 biljard ton. Anders hadden we dat wel gemerkt – of waren we er überhaupt niet geweest.

Sterbevingen

Maar wat zou er dan gebeuren als de zon een zwart gat had opgeslokt van 20 biljard ton, met andere woorden: het zwaarste zwarte gat dat tot op heden ongemerkt in het binnenste van de zon had kunnen vertoeven? Allereerst zou dat gat inmiddels zijn gegroeid tot ongeveer de massa van de aarde – maar dat zou dus niet hebben geleid tot waarneembare effecten. Tenminste, niet met de techniek van nu. "We verwachten dat we in de nabije toekomst mogelijk 'zonbevingen' kunnen meten die ons informatie geven over het allerdiepste centrum van de zon", zegt De Mink. "Met dat soort seismologische metingen zou je zo'n zwart gat op het spoor kunnen komen."
Ingrijpender zijn de gevolgen voor de toekomst van de zon. Zónder zwart gat heeft die nog zo'n 5 miljard jaar te gaan voor hij door zijn huidige brandstof heen is: de waterstof in zijn binnenste. Heeft de zon dat punt eenmaal bereikt, dan verandert hij in een rode reuzenster – een ster zo groot, dat hij mogelijk zelfs de aarde opslokt.
Mét zwart gat wordt het een heel ander verhaal. In dat geval is over zo'n anderhalf miljard jaar niet meer het 'verbranden' van waterstof de voornaamste energiebron van de zon, maar de hitte van het gas dat het zwarte gat in stroomt. En die ommezwaai zou betekenen dat de zon dán al een rode reus wordt.

Tijdrovende simulaties

Of dat echt gaat gebeuren, is dus met de technologie van nu nog niet vast te stellen. Wel kunnen we kijken naar andere rode reuzen in ons sterrenstelsel de Melkweg, zegt De Mink. "Die staan een stuk verder van ons af dan onze zon, maar misschien zijn hun 'sterbevingen' toch makkelijker te meten dan de bevingen op onze zon."
Ook kunnen De Mink en collega's hun computersimulaties uitbreiden. Nu stoppen die als het

gat een twintigste van de massa van de zon heeft opgeslokt. “Zouden we verder willen gaan, dan moeten we overstappen naar driedimensionale simulaties”, zegt De Mink. “Helaas zijn dat soort simulaties erg tijdrovend en is het moeilijk om alle effecten van straling goed mee te nemen. Maar we zijn al benaderd door onderzoeksgroepen die hier meer verstand van hebben en met ons mee willen denken.”
In de tussentijd hoeven we niet bang te zijn voor taferelen zoals die in de clip van Soundgarden. Als er ooit een zwart gaatje in de zon is beland, zou het wel heel toevallig zijn als dat nu nét zo zwaar is geworden dat het op korte termijn merkbare gevolgen krijgt. En zelfs als dat zo is, zullen we niet massaal van het aardoppervlak worden geplukt. Want hoe gevaarlijk zo’n *black hole sun* ook lijkt, uiteindelijk heeft ie een net zo grote zwaartekracht als een zon zónder gat. En daar vliegen we ook niet zomaar naartoe.

Astronomen ontdekken link tussen superzwaar zwart gat en donkere materie. En lossen daarmee het ‘final parsec-probleem’ op

Aan de ene kant heb je gigantische superzware zwarte gaten en aan de andere kant piepkleine deeltjes van donkere materie. Die blijken een verrassende link te hebben, waarmee een al lang bestaand probleem in de astronomie eindelijk wordt opgelost.
Het begon allemaal in 2023 met de ontdekking van een gebrom van zwaartekrachtgolven in de ruimte. Zwaartekrachtgolven zijn fluctuaties in de kromming van de ruimtetijd, waarvan het bestaan voor het eerst in 2015 werd bevestigd. Dit doordringende achtergrondsignaal zou afkomstig zijn van miljoenen samensmeltende paren van superzware zwarte gaten. Om je een idee te geven: elk superzwaar zwart gat is miljarden keren zwaarder dan onze zon.

Het final parsec-probleem

Het probleem met deze theorie is dat simulaties aantoonden dat als paren van deze kolossale zwarte gaten dichter naar elkaar toe draaien, hun toenadering plots stopt op een parsec afstand. Een parsec is ruim drie lichtjaar. Daardoor kan de samensmelting dus niet plaatsvinden. Dit wordt het ‘final parsec-probleem’ genoemd: alle theorieën en waarnemingen lopen spaak door die laatste parsec.
Dit probleem conflicteert niet alleen met de theorie dat samensmeltende superzware zwarte gaten de bron zijn van de achtergrondruis van zwaartekrachtgolven, maar het druist ook in tegen het idee dat supermassieve zwarte gaten steeds groter worden door de samensmelting met minder grote zwarte gaten.

Donkere materie

Dus hoe dat op te lossen? Hier komt de donkere materie in de bocht. De zwarte gaten kunnen die laatste parsec overbruggen en tóch samensmelten door een eigenschap van donkere materiedeeltjes die eerder over het hoofd is gezien.
Superzware zwarte gaten bevinden zich vermoedelijk in het centrum van de meeste sterrenstelsels. Als twee stelsels botsen komen de zwarte gaten in een baan om elkaar. Terwijl ze om elkaar heen draaien, trekt de zwaartekracht van nabijgelegen sterren aan ze waardoor ze vertragen en naar een samensmelting toe bewegen.

Toch een samensmelting

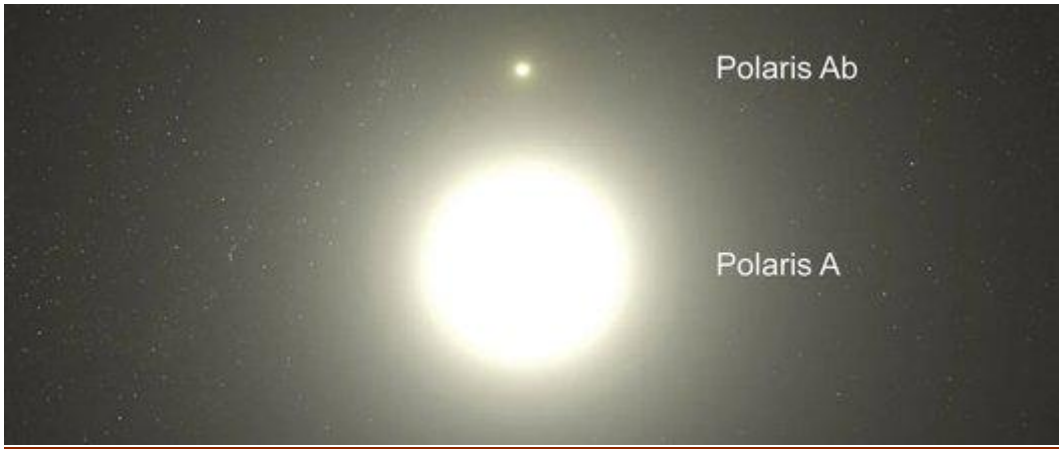
Eerdere modellen toonden aan dat wanneer de superzware zwarte gaten elkaar naderen tot een parsec, ze beginnen te interacteren met de donkere materiewolk waarin ze zich bevinden. De zwaartekracht van de om elkaar heen draaiende superzware zwarte gaten gooit donkere materiedeeltjes uit het systeem. De schaarste aan donkere materie die zo ontstaat, heeft tot gevolg dat er geen energie wordt onttrokken aan het paar zwarte gaten en hun onderlinge banen niet langer kleiner worden. Zo bleven ze dus op die parsec afstand van elkaar en konden ze niet samensmelten.
Nu blijkt dat de astronomen iets over het hoofd hebben gezien. In het nieuwe model tonen ze aan dat de donkere materiedeeltjes op een dusdanige manier met elkaar interacteren dat ze niet verspreid worden en de dichtheid van de donkere materiehalo hoog genoeg blijft. Daardoor gaat de interactie tussen de deeltjes en de zwarte gaten door en blijft de baan van de gaten krimpen tot ze wel degelijk samensmelten.
“De mogelijkheid dat donkere materiedeeltjes met elkaar interacteren is een aanname die we hebben gedaan, een extra ingrediënt dat niet alle donkere materiemodellen bevatten”, zegt onderzoeker Gonzalo Alonso-Álvarez van de *McGill University*. “Ons argument is dat alleen modellen met dat ingrediënt het final parsec-probleem kunnen oplossen.”

Kijkje in de aard van donkere materie

Naast inzicht in de samensmeltingen van zwarte gaten en het achtergrondsignaal van zwaartekrachtgolven, biedt het nieuwe resultaat ook een kijkje in de aard van donkere materie. “Ons werk is een nieuwe manier om ons te helpen de deeltjes waar donkere materie uit bestaat beter te begrijpen”, zegt Alonso-Álvarez. “We ontdekten dat de loop van de baan van zwarte gaten zeer gevoelig is voor donkere materie. Dat betekent dat we waarnemingen van samensmeltingen kunnen gebruiken om meer inzicht te krijgen in deze deeltjes.”

Zo kwamen de onderzoekers er bijvoorbeeld achter dat de interactie tussen donkere materiedeeltjes zoals die uit hun model bleek, ook de vorm van veel grotere galactische halo’s van donkere materie kan verklaren. “We weten nu dat het final parsec-probleem alleen kan worden opgelost als donkere materiedeeltjes met een snelheid interacteren die de verdeling van donkere materie op galactische schaal kan veranderen. Dit was onverwacht omdat de fysische schalen waarop de processen plaatsvinden drie of meer ordes van grootte uit elkaar liggen”, klinkt het tot besluit.

Poolster is zwaarder dan gedacht



Artist's impression van het stersysteem Polaris. *(NASA/ESA/HST, G. Bacon (STScI))*
Polaris, de ster die het ware noorden aangeeft, is vijftig procent zwaarder dan tot nu toe werd aangenomen. Dat blijkt uit onderzoek door een team onder aanvoering van Nancy Remage Evans van de Universiteit van Toronto (Canada). De herziene massabepaling is gebaseerd op een nieuwe berekening van de baanbeweging van een veel zwakkere ster – Polaris Ab – die om de noordelijke Poolster heen draait (ScienceNews, 25 juli).

Massa is van grote invloed van de levensloop van een ster. Hoe meer massa een ster heeft, des te sneller verbruikt hij zijn brandstof en sterft hij. Op basis van een eerdere schatting werd de leeftijd van Polaris geschat op 3,45 zonsmassa's, en daaruit werd afgeleid dat hij ongeveer 100 miljoen jaar oud is. De nieuwe massabepaling, die uitkomt op iets meer dan vijf zonsmassa's, betekent dat de ster korter geleden is gevormd, maar hoe oud hij precies is, is nog onduidelijk.

De begeleider van Polaris is zo zwak dat hij pas in 2005 door Nancy Evans en haar collega's werd ontdekt met behulp van de Hubble-ruimtetelescoop. Toen hij tien jaar later het dichtst bij de Poolster kwam, begonnen Evans en anderen hem te volgen met de CHARA-array, een optische interferometer bestaande uit zes 1-meter telescopen, op Mount Wilson in Californië (VS).

Omdat de begeleidende ster er bijna dertig jaar over doet om eenmaal om Polaris te draaien, is inmiddels het grootste deel van van zijn omloopbaan waargenomen, wat de betrouwbaarheid van de nieuwe massaschatting vergroot.

Met een afstand van 447 lichtjaar is Polaris het meest nabije voorbeeld van een klasse van sterren die Cepheïden worden genoemd. Cepheïden zijn groot en helder en naderen het einde van hun bestaan. Tijdens deze levensfase vertonen ze regelmatige helderheidsveranderingen, die kunnen worden gebruikt om hun afstanden te bepalen. (EE)

Dit sterrenstelsel blaast ‘kolossale fonteinen’ de ruimte in



Beeld: ESO/A. Watts et al.

Het blaast gigantische hoeveelheden gas de ruimte in. Als dat zo doorgaat, blijft er geen gas meer over voor de geboorte van nieuwe sterren. Het stelsel zal dan eindigen als een inactieve verzameling van bejaarde sterren.
NGC 4383, zoals het stelsel heet, werd in 1862 ontdekt door de Duitse astronoom Eduard Schönfeld. Het bevindt zich op 62 miljoen lichtjaar afstand in de Virgo-cluster – een gigantische zwerm van sterrenstelsels. Eerdere waarnemingen deden al vermoeden dat NGC 4383 veel gas naar buiten blaast.
Een internationaal team van astronomen onder leiding van Adam Watts (Universiteit van West-Australië) heeft het stelsel nu in detail bestudeerd met het MUSE-instrument op de Europese Very Large Telescope in Noord-Chili. MUSE (*Multi Unit Spectroscopic Explorer*) legt elke pixel in het beeld vast in honderden verschillende kleuren. Zo wordt informatie verkregen over de beweging en de samenstelling van gas en sterren.

Vanuit de kern van het stelsel worden kolossale ‘fonteinen’ van gas omhoog en omlaag worden geblazen, tot afstanden van wel 20.000 lichtjaar

Op het samengestelde beeld is te zien dat er vanuit de kern van het stelsel (rechts van het

midden) kolossale ‘fonteinen’ van gas omhoog en omlaag worden geblazen, tot afstanden van wel 20.000 lichtjaar. Dat gebeurt met snelheden van ruim tweehonderd kilometer per seconde. In totaal heeft NGC 4383 op deze manier al minstens vijftig miljoen zonmassa’s aan gas ‘verloren’.
De fonteinen worden ‘aangedreven’ door sterrenwinden en supernova-explosies in de kern van het stelsel. Het weggeblazen gas bestaat voornamelijk uit waterstof – het bouwmateriaal van nieuwe sterren. In de toekomst zal de stervormingsactiviteit in het stelsel dan ook afnemen.

Sterrenkundigen verklaren hoe organische macromoleculen gevormd worden

Een internationaal team van onderzoekers onder Nederlandse leiding heeft met behulp van op waarnemingen gebaseerde computermodellen een verklaring gevonden voor de manier waarop macromoleculen in korte tijd gevormd kunnen worden in schijven van gas en stof rond jonge sterren. Ze publiceren hun bevindingen op vandaag in het vakblad Nature Astronomy.



Artistieke weergave van een stofval.

Planeetonderzoekers gaan er al langer vanuit dat de organische macromoleculen die de aarde geschikt voor leven maken, uit chondrieten komen. Dat zijn primitieve, oeroude meteorieten van samengeklonterde kiezels. Maar de vraag bleef tot nu toe hoe die samengeklonterde kiezels dan weer aan de macromoleculen zijn gekomen. Daarvoor hebben onderzoekers van onder meer de TU Delft en de Universiteit Leiden nu een verklaring.

Combinatie van stofval en straling

De onderzoekers combineren in een model twee verschijnselen die al in het echt zijn waargenomen. Het eerste is het verschijnsel dat er in de stofschijf die rond een jonge ster draait, gebieden zijn waar stof en ijs zich ophoopt. In zo'n stofval of ijsval ligt het ijzige stof niet stil, maar beweegt het omhoog en omlaag.
Het tweede verschijnsel draait om de zware bestraling, bijvoorbeeld door sterlicht, van eenvoudige ijsmengsels. Uit laboratoriumonderzoek is bekend dat er door bestraling zeer complexe moleculen van honderden atomen groot gevormd kunnen worden. Deze moleculen bevatten hoofdzakelijk koolstofatomen en zijn te vergelijken met roet en grafeen. Als er, zo dachten de onderzoekers, nu eens stofvallen zijn die blootstaan aan een bombardement van sterlicht, dan zouden daar weleens organische macromoleculen kunnen ontstaan. Om hun hypothese te testen, stelden de onderzoekers een model op waarmee ze verschillende omstandigheden konden doorrekenen.



Artistieke weergave van een stofval. De stofval vormt een veilige haven voor kleine deeltjes in de schijf, waardoor deze kunnen samenklonteren en groot genoeg kunnen worden om zelfstandig te overleven. (c) ESO/L. Calçada

Macromolecuul in paar decennia
Uit het model kwam naar voren dat zich bij de juiste omstandigheden macromoleculen kunnen vormen in slechts enkele tientallen jaren.
"We hadden natuurlijk op dit resultaat gehoopt, maar dat het zo overduidelijk zou zijn, kwam toch wel als een mooie verrassing," zegt leider van de studie Niels Ligterink. Hij werkt tot juli aan de Universität Bern in Zwitserland en komt daarna naar de TU Delft. "Ik hoop dat vakgenoten meer aandacht krijgen voor het effect van zware straling op complexe chemische processen. De meeste onderzoekers richten zich op relatief kleine organische

moleculen van enkele tientallen atomen groot, terwijl chondrieten juist vooral macromoleculen bevatten.”
“Het is echt supertof dat we nu met een op waarnemingen gebaseerd model kunnen verklaren hoe grote moleculen gevormd kunnen worden,” zegt coauteur Nienke van der Marel, Universiteit Leiden. Zij toonde elf jaar geleden met collega’s als eerste onomstotelijk aan dat er stofvallen bestonden en heeft zich sindsdien in het onderwerp vastgebeten. “Ons onderzoek is een unieke combinatie van astrochemie, waarnemingen met ALMA, laboratoriumwerk, stofevolutie en de studie van meteorieten uit ons zonnestelsel.”
In de toekomst willen de onderzoekers kijken hoe verschillende soorten stofvallen verschillend reageren op straling en bewegende stofstromen. Zo kunnen ze meer zeggen over de kans op leven rond verschillende soorten exoplaneten en sterren.

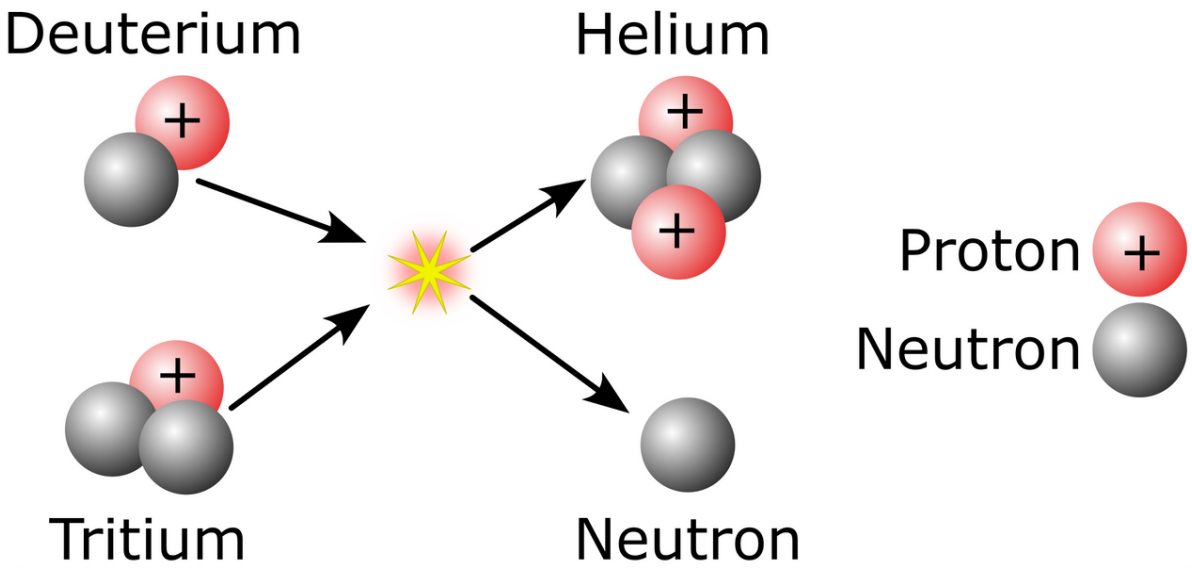
Een ster in een vat: ultieme energiebron, maar hoe voorkomen we dat het vat smelt?

Kernfusie als energiebron ligt volgens sommige critici altijd dertig jaar in de toekomst. Snelle computermodellen die de warmteafvoer voorspellen, zijn één van de sleutels om deze toekomstmuziek ooit te laten weerklinken.

Wat is de warmste plaats in ons zonnestelsel? Veel mensen denken dat dit de zon is, maar dat klopt niet. Bijna dagelijks bereiken wereldwijd verspreide kernfusie-experimenten temperaturen van ongeveer 100 miljoen graden Celsius, bijna tien keer warmer dan de kern van de zon. Wetenschappers gebruiken deze experimenten om kernfusie beter te begrijpen als tussenstap naar het bouwen van reactoren die elektriciteit kunnen opwekken. De huidige experimenten gebeuren in reactorvaten met gelijkaardige vormen als toekomstige elektriciteitsproducerende reactoren, maar zijn meer dan twee keer kleiner. De openingsfoto toont JET in het Verenigd Koninkrijk, de wereldrecordhouder voor de productie van fusie-energie. De diameter van het donutvormige reactorvat van JET is ongeveer acht meter. Hoewel huidige experimenten de omstandigheden van toekomstige reactoren zoveel mogelijk nabootsen, zijn de geproduceerde fusievermogens nog beperkt. Hierdoor blijft de warmtebelasting op de reactorwand laag genoeg zodat de wand niet smelt. Als we kernfusie willen gebruiken om elektriciteit op te wekken, moeten de geproduceerde fusievermogens sterk omhoog. Een deel van het onderzoek in de “Thermal and Fluids Engineering” groep aan de KU Leuven kadert in de enorme uitdaging om ervoor te zorgen dat het reactorvat niet smelt bij deze hoge vermogens.

Hoe werkt kernfusie?

Kernfusie is de energiebron van de zon. Om de zon na te bouwen op aarde, gebruiken we twee waterstofisotopen: deuterium en tritium. Beide atoomkernen hebben één positief geladen proton. Deuterium heeft daarnaast één neutron, terwijl tritium er twee heeft. Bij het samensmelten van de kernen ontstaat helium en komt er een neutron vrij.

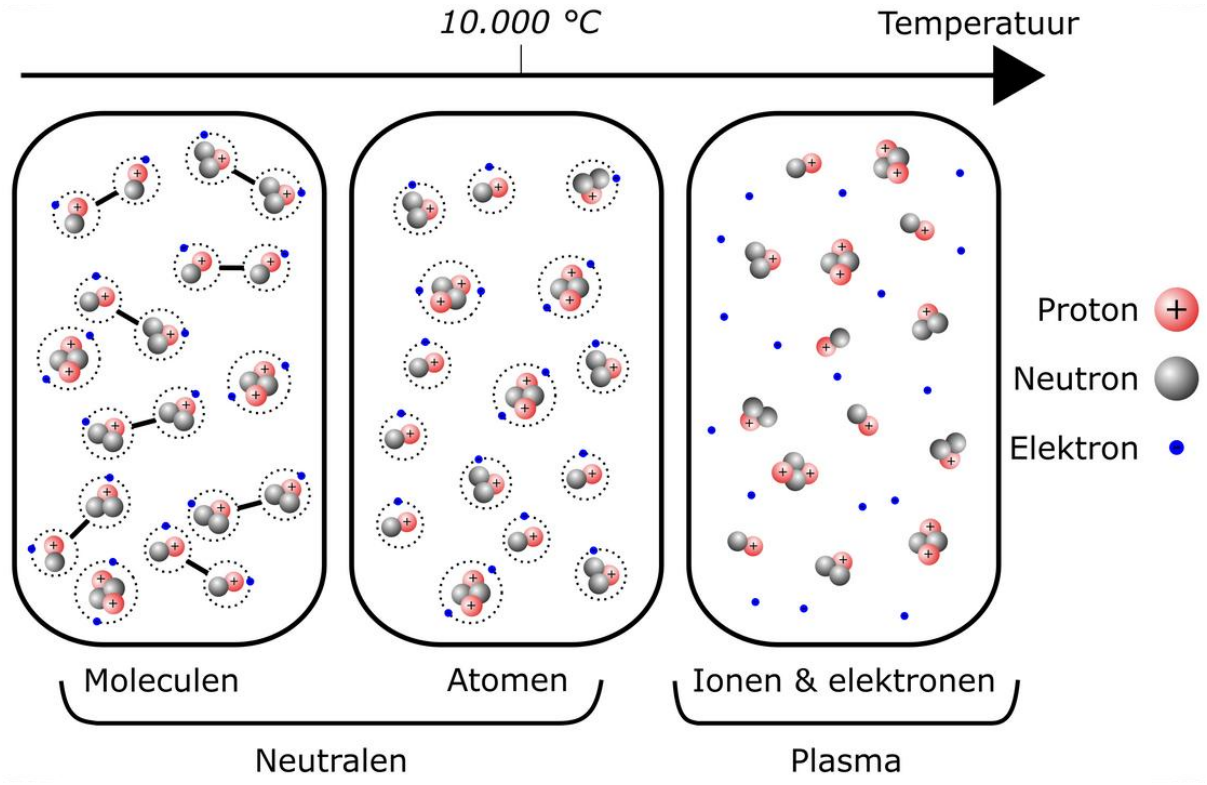


Fusie van een deuterium- en tritiumkern.

Bij dit fusieproces gaat een deel van de massa (*m*) verloren. Deze wordt via Einsteins beroemde formule, $E = mc2$, omgezet in energie (*E*). Omdat de lichtsnelheid (*c* = 300.000 km/s) enorm groot is, leidt een kleine afname van massa tot een gigantische hoeveelheid energie. Een half bad zeewater en de tritium die kan worden gemaakt uit de lithium in een laptopbatterij zijn voldoende voor de energiebehoeften van één persoon voor dertig jaar. In tegenstelling tot kernsplijting, het proces in huidige kernreactoren, leidt het neutron dat vrijkomt bij kernfusie niet tot verdere fusiereacties. Daardoor is kernfusie veilig. Bovendien produceert kernfusie slechts een beperkte hoeveelheid kortlevend radioactief afval en geen langlevend afval.

Extreem hoge temperaturen

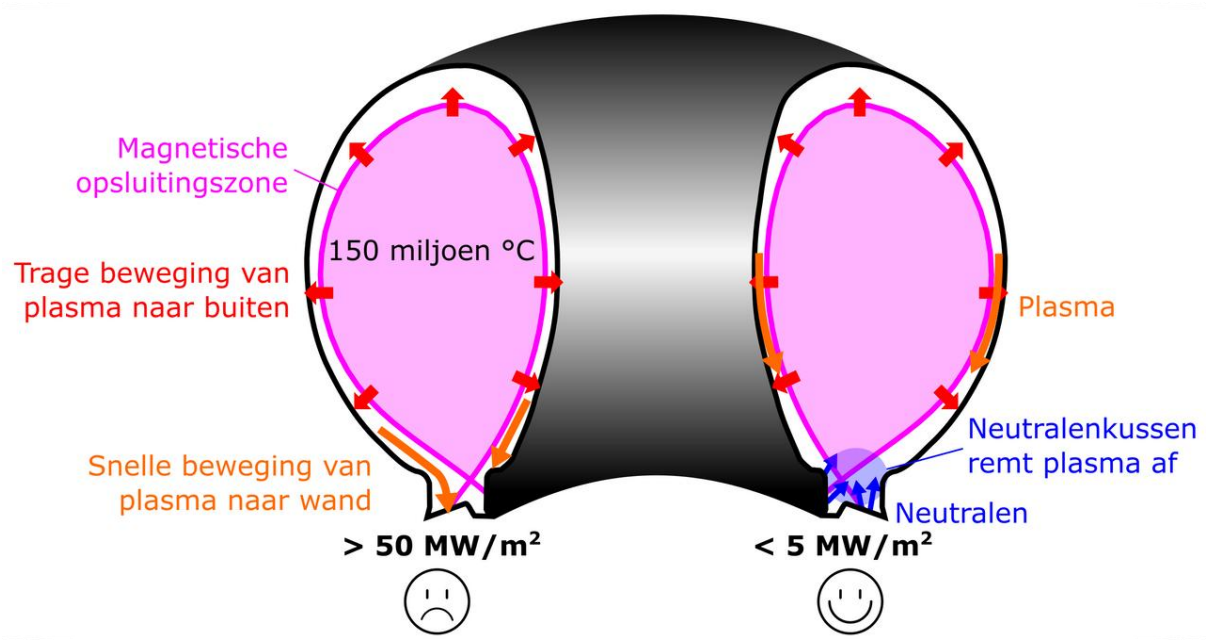
Omdat de positief geladen kernen die bij een kernfusiereactie worden gebruikt elkaar sterk afstoten, moet de temperatuur in de reactor extreem hoog zijn. Bij deze hoge temperatuur hebben de deeltjes voldoende energie om toch dicht genoeg bij elkaar te komen. Je kan dit min of meer vergelijken met het werpen van een bal over een hoog net. Als je de bal niet genoeg snelheid geeft, geraakt hij niet over het net. Voor de afstoting tussen twee positief geladen kernen is dit effect nog extremer dan voor de bal, omdat de afstotingskracht sterk toeneemt naarmate de kernen dichter bij elkaar komen. Dit is vergelijkbaar met het dichterbij brengen van de positieve polen van twee magneten.
'Bij extreem hoge temperaturen ontstaat er een plasma, een mix van ionen en elektronen'
Hoewel atoomkernen positief geladen zijn, zijn atomen neutraal door de aanwezigheid van negatief geladen elektronen (blauwe deeltjes in de figuur hieronder). Bij een temperatuur ver onder 10.000 °C vormen de deuterium- en tritiumatomen moleculen en krijg je de linkse figuur. Als je de temperatuur opdrijft, breken eerst de moleculebindingen (middelste figuur) en uiteindelijk komen de elektronen zelfs los van de atomen (rechtse figuur). Deze mix van positieve ionen en negatieve elektronen wordt *plasma* genoemd. De temperatuur voor kernfusie is 150 miljoen graden Celsius zodat een *plasma* gecreëerd wordt.



Visualisatie van het ontstaan van een plasma bij hoge temperatuur.

Het probleem van de warmteafvoer

De geladen deeltjes kunnen we opsluiten met behulp van magnetische velden, zodat het extreem hete *plasma* geen direct contact maakt met de reactorwand. Dit gebeurt meestal in een donutvormige reactor, bekend als een *tokamak*, zoals te zien is op de openingsfoto. Na een bepaalde tijd zijn de plasmadeeltjes niet langer magnetisch opgesloten en vliegen ze zeer snel naar een klein deel van de wand (zie figuur hieronder). Door het kleine oppervlak waarop de deeltjes terechtkomen is de warmtebelasting gigantisch. Deze warmtebelasting wordt immers uitgedrukt in Megawatt (MW) per vierkante meter (m2). Als het *plasma* ongehinderd zou stromen naar dit kleine contactoppervlak, krijgen we gemakkelijk een warmtebelasting van meer dan 50 MW/m2 (situatie van de linkse doorsnede). Ter vergelijking, de typische warmtebelasting van een ruimtevaartuig bij terugkeer in de atmosfeer is 1 MW/m², wat een idee geeft van de catastrofale gevolgen voor de reactor.



Doorsnede van donutvormige tokamak. Links: hoge warmtebelasting als er geen neutralen zouden zijn; rechts: verlaagde warmtebelasting door neutralenkussen.

Gelukkig helpt de fysica een handje. Wanneer de ionen en elektronen de reactorwand bereiken, binden ze terug en reflecteren ze als ongeladen atomen en moleculen (neutralen). Dit creëert een neutralenkussen voor de wand dat de warmtebelasting kan verlagen tot minder dan 5 MW/m2 (situatie van de rechtse doorsnede). Je kan dit vergelijken met het houden van een spons onder een lopende kraan. Het water komt nu langs alle kanten uit de spons en verdeelt zich over een veel groter oppervlak. Omdat neutralen zichtbaar licht uitzenden, is dit neutralenkussen ook zichtbaar aan de rechterkant van de openingsfoto. Met een warmtebelasting van minder dan 5 MW/m² en voldoende koeling rond de reactor smelt de wand niet.

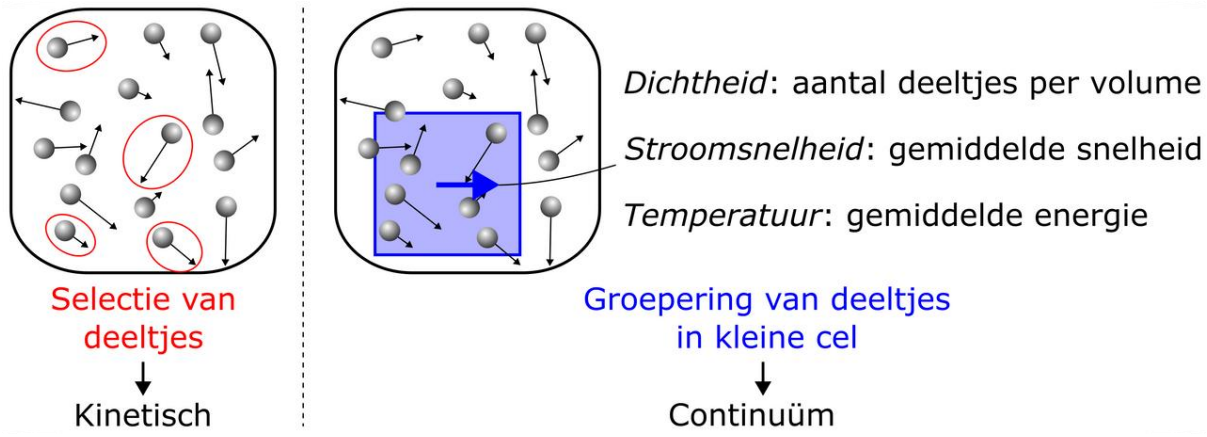
Rol van computermodellen

De uitdaging is dat de eigenschappen van dit neutralenkussen sterk afhangen van het ontwerp van de reactor. Zo beïnvloeden onder andere de vorm van de reactorwand en het magnetisch veld de warmtebelasting. Simulaties met computermodellen ondersteunen het ontwerp van toekomstige reactoren. De gekende fysica wordt in wiskundige modellen gegoten die de computer kan oplossen. Op die manier krijg je een digitale replica van de kernfusiereactor, waarmee we kunnen experimenteren zonder catastrofale gevolgen.
De meest nauwkeurige resultaten krijg je door alle individuele deeltjes (ionen, elektronen, atomen en moleculen) in de reactor te volgen met de computer. Dit gaat typisch over ongeveer 1023 deeltjes. De rekentijd per deeltje is gemakkelijk meer dan een minuut, wat een totale rekentijd geeft van 1023 minuten = 200 biljard jaar (een 2 met 17 nullen). Zelfs als je duizenden computers samen laat rekenen, zou je nog geen resultaat hebben voordat de zon al lang opgebrand is.
Gelukkig geeft een selectie van ongeveer een miljoen deeltjes al een voldoende nauwkeurig beeld. Als dan 1.000 computers samen rekenen, krijg je resultaten binnen een dag. Deze deeltjesmodellen staan bekend als *kinetische modellen* (linkerkant van figuur hieronder). De aanname van één minuut rekentijd per deeltje is een onderschatting en vaak duurt het toch meerdere dagen of zelfs weken om voldoende nauwkeurige resultaten te krijgen. *Kinetische modellen* zijn daarom bedoeld om accurate referentie-oplossingen te verkrijgen, maar zijn

ongeschikt voor ontwerpberekeningen waarvoor de simulaties regelmatig herhaald moeten worden met verschillende parameters.

Continuümmodellen voorspellen de warmtebelasting in minder dan een dag rekentijd

In onze onderzoeksgroep ontwikkelen we modellen om het collectief gedrag van de deeltjes (met vooral een focus op de *neutralen*) te beschrijven, bekend als *continuümmodellen* (rechterkant van de figuur hieronder). Door de deeltjes op een slimme manier te groeperen, kunnen we vergelijkingen opstellen voor hun gemiddelde eigenschappen. De dichtheid geeft aan hoeveel deeltjes zich op een bepaalde plaats bevinden, de stroomsnelheid beschrijft hun gemiddelde bewegingssnelheid, en de temperatuur geeft een indicatie van hun gemiddelde kinetische energie. Deze *continuümmodellen* bieden doorgaans een voldoende nauwkeurige benadering voor de warmtebelasting en zijn minstens 1.000 keer sneller dan *kinetische modellen*, waardoor we binnen een dag resultaten verkrijgen met slechts één computer.



Van kinetische naar continuümmodellen. De deeltjes stellen ionen, elektronen, atomen of moleculen voor. Ieder deeltje heeft een individuele snelheid voorgesteld door de zwarte pijlen.

Blijft kernfusie voor elektriciteitsproductie voor eeuwig toekomstmuziek?

Kernfusie heeft heel wat technologische uitdagingen. In huidige experimenten is de energie die vrijkomt bij kernfusie nog altijd lager dan de energie die nodig is om het plasma op te warmen. ITER (ITER - the way to new energy), de reactor die momenteel in Frankrijk wordt gebouwd en gepland is om op te starten in 2034, is ontworpen om 500 MW fusievermogen te produceren met een inputvermogen van 50 MW. Daarnaast ontstaan er steeds meer kernfusie-startups. Elektriciteitsproducerende reactoren zijn wellicht pas voor de tweede helft van de 21ste eeuw. Of de techniek finaal zal doorbreken hangt af van de verdere kostenoptimalisatie van het ontwerp en van de waarde die de samenleving zal hechten aan de ecologische voetafdruk van de elektriciteitsproductie.

Computermodellen hebben bijgedragen aan enorme vooruitgangen in het kernfusieonderzoek en zullen een cruciale rol blijven spelen. Het versnellen van deze modellen is essentieel om ze bruikbaar te maken voor ontwerpberekeningen. *Continuümmodellen* maken het mogelijk om het probleem van de enorme warmtebelasting in toekomstige reactoren aan te pakken. Door toekomstige reactoren nu te ontwerpen, kunnen we ervoor zorgen dat kernfusie niet altijd dertig jaar in de toekomst zal blijven liggen.

De kern van sterrenstelsel Messier 106 ontleed

Op deze nieuwe foto van de James Webb-telescoop staat sterrenstelsel Messier 106 centraal, ook bekend als NGC 4258. Dit spiraalvormige stelsel is een van de helderste en dichtstbijzijnde in het sterrenbeeld Jachthonden en bevindt zich slechts een ‘schamele’ 23 miljoen lichtjaren hiervandaan.
De opmerkelijk actieve kern van dit sterrenstelsel maakt de centrumregio M106 bijzonder interessant voor astronomen, ook omdat er meerdere supernova’s zijn waargenomen – in 1981 en 2014.
In het hart van dit sterrenstelsel bevindt zich, zoals in de meeste spiraalstelsels, een superzwaar zwart gat, maar dit exemplaar is bijzonder actief. In tegenstelling tot het zwarte gat in het centrum van onze Melkweg die sporadisch gas opzuigt, is het zwarte gat in Messier 106 constant bezig met het opslokken van materie. Terwijl het gas naar het zwarte gat toe cirkelt, warmt het op en zendt het krachtige straling uit.
De foto die Webb maakte van het centrum van sterrenstelsel M106 toont deze processen in detail:



Een close-upfoto van het centrum van Messier 106, door de ogen van JWST (NIRCam, valse kleuren). De armen van het sterrenstelsel zijn te zien als brede, kronkelende banen van gloeiend gas en stof, gekleurd in rood en oranje. Tot slot zijn er twee extra spiraalarmen te zien in het groen. Afbeelding: ESA/Webb, NASA & CSA, J. Glenn

Vanuit het hart van dit spiraalvormige sterrenstelsel schijnt een felle, blauwwitte gloed. De blauwe gebieden in deze afbeelding weerspiegelen de sterverdeling. Door de gloed heen zijn er ook verder gelegen sterrenstelsels te zien. De armen van het sterrenstelsel zijn te

zien als brede, kronkelende banen van gloeiend gas en stof, gekleurd in rood en oranje. De oranje gebieden geven warmer stof aan en de rodere tinten vertegenwoordigen kouder stof. Tot slot zijn er twee extra spiraalarmen te zien in het groen.
Deze extra armen zijn bijzonder: ze zijn wél zichtbaar in radio- en röntgengolflengten, maar niet stralend in zichtbaar licht. In tegenstelling tot de normale armen, zijn deze samengesteld uit heet gas in plaats van gevormde sterren. Astronomen denken dat deze extra armen het gevolg zijn van de activiteit van het zwarte gat, waarschijnlijk veroorzaakt door uitstromend materiaal dat wordt geproduceerd door het gewelddadige omwoelen van gas rond het zwarte gat.*Op deze samengestelde overzichtsfoto van Messier 106 in het sterrenbeeld Jachthonden (kleurgetrouw, gemaakt met de beelden van voornamelijk de Hubble-telescoop) is de heldere kern te zien die in detail door JWST werd bestudeerd. Foto: NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA), R. Gendler, J. GaBany*
Messier 106 blijkt een sterrenstelsel vol verrassingen. Terwijl de sterrenstelselarmen majestueus om de kern wervelen, geven de mysterieuze extra armen ons een zeldzaam inkijkje in de dynamische processen die in deze galactische kern plaatsvinden. Dit soort ontdekkingen benadrukt opnieuw hoe belangrijk moderne telescopen zoals Webb zijn om de complexe en fascinerende natuur van het universum te ontrafelen. Met elke nieuwe blik in de diepe ruimte komen we dichter bij het begrijpen van de krachten die sterrenstelsels vormen en beïnvloede

Een van de grootste paradoxen van het heelal is mogelijk opgelost

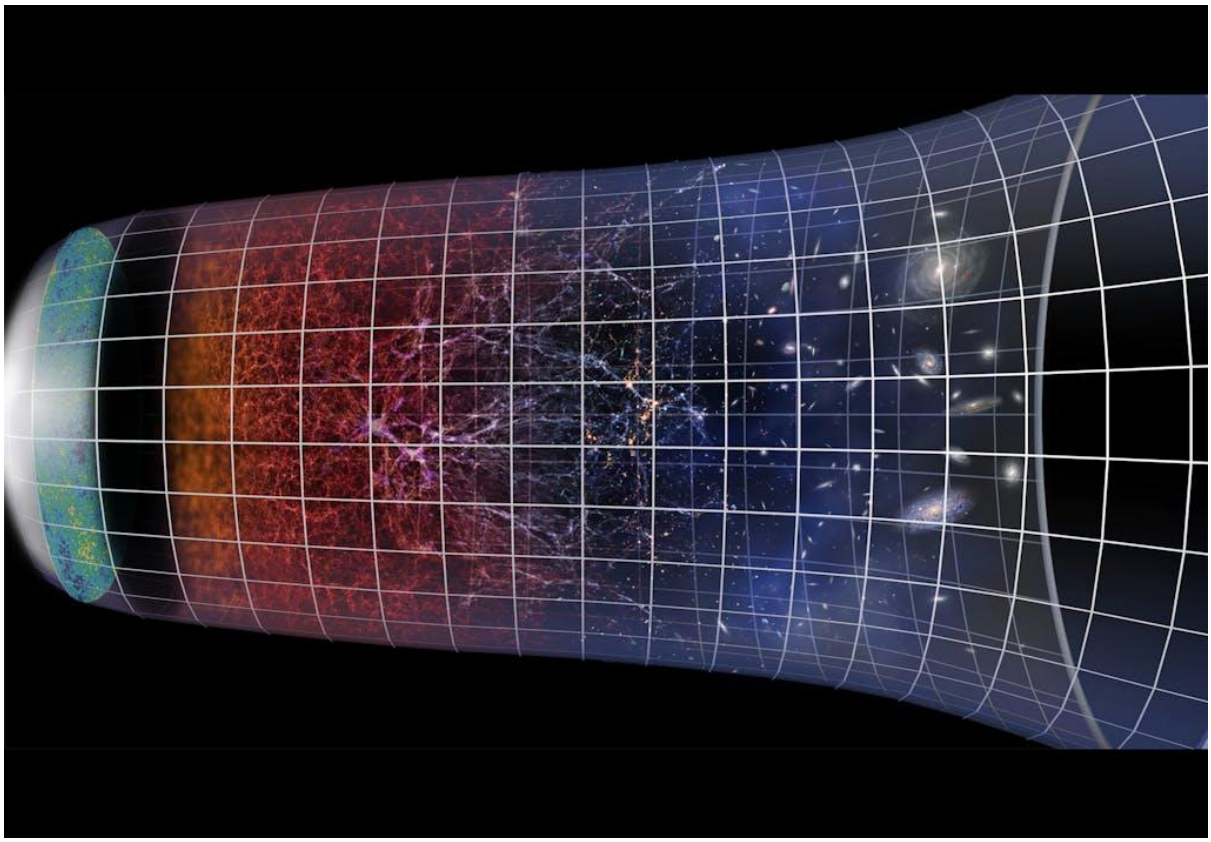
Sinds de Webb-ruimtetelescoop in 2022 de eerste data terugstuurde naar de aarde, is er onenigheid over de uitdijingssnelheid van het heelal. Een onderzoeksteam heeft dit probleem mogelijk opgelost.



De onderzoekers namen het spiraalstelsel Messier 106 – ofwel NGC 4258 – als uitgangspunt. Het stelsel bevat veel Cepheïden die zo sterk lijken op de Cepheïden van de Melkweg en andere sterrenstelsels dat Messier 106 vaak als controlestelsel wordt gebruikt als er afstanden worden gemeten met Cepheïden. Hier zie je het stelsel door de Hubbletelescoop.
Sinds de oerknal circa 14 miljard jaar geleden is het heelal blijven uitdijen – en er zijn aanwijzingen dat dit steeds sneller gaat.
De maat voor de uitdijing van het heelal wordt de hubbleconstante genoemd.
Astronoom Edwin Hubble bewees in 1929 het verband, toen hij waarnam dat de verste sterrenstelsels zich sneller van de aarde verwijderen dan sterrenstelsels dichter bij ons.
Sindsdien hebben modernere meetmethoden en technologie discrepanties aangetoond afhankelijk van waar en hoe je meet.
De controverse wordt de hubblespanning genoemd – en mogelijk is die spanning nu weggenomen.
Onderzoekers van de Universiteit van Chicago bewezen met data van de Webb-ruimtetelescoop dat er waarschijnlijk helemaal geen discrepantie is.

Twee methoden

Wetenschappers gebruiken twee manieren om de hubbleconstante te meten: op basis van de kosmische achtergrondstraling of door te meten hoe snel sterrenstelsels of supernova's van ons af bewegen.
In 2013 heeft de Planck Observatory van ESA de kosmische achtergrondstraling gemeten, resten van het eerste licht in het heelal dat 380.000 jaar na de oerknal verscheen.
Op basis daarvan berekenden onderzoekers de hubbleconstante op 67,4 kilometer per seconde. Die snelheid kwam overeen met verschillende theoretische voorspellingen.
Dit betekent dat elke megaparsec met 67,4 km/s uitdijt. 1 megaparsec komt overeen met 3,26 miljoen lichtjaar.
Met de Webb-telescoop, die sinds 2022 data naar de aarde stuurt, wilde een team van onderzoekers de hubbleconstante bepalen door lichtgevende objecten te meten die van ons af bewegen.



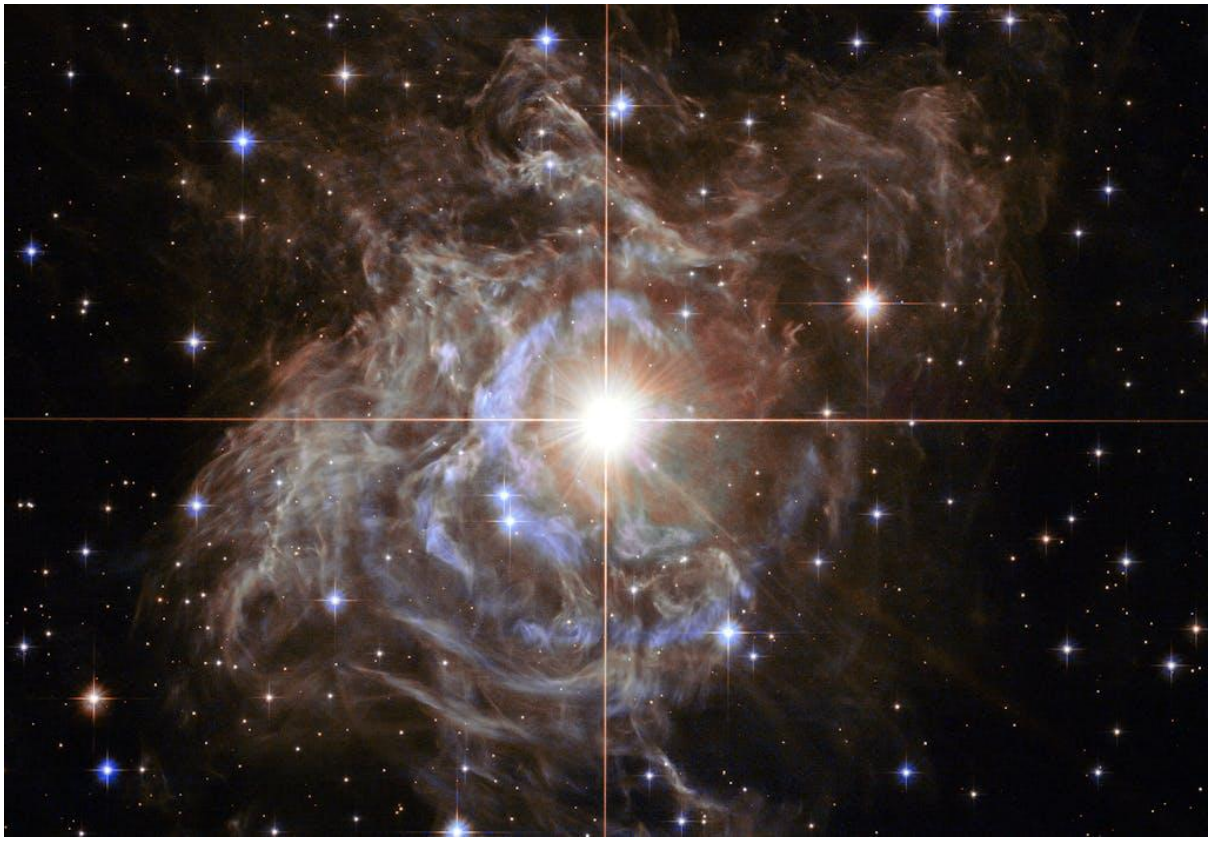
Een illustratie van de uitdijing van het heelal vanaf de oerknal bijna 14 miljard jaar geleden tot nu. De groene, blauwe en gele schijf uiterst links illustreren kosmische achtergrondstraling.

Ze maten een aantal bijzonder pulserende sterren, Cepheïden. Deze sterren sterven langzaam, waarbij hun buitenste laag van heliumgas groeit en krimpt terwijl ze straling opnemen en vrijgeven.

Hierdoor variëren ze in helderheid in een specifiek ritme, dat het voor astronomen makkelijk maakt om te berekenen hoeveel licht ze uitzenden.
Op basis hiervan is te berekenen hoe ver weg ze staan, omdat we weten hoeveel het licht aan intensiteit verliest naarmate de afstand toeneemt.
Het onderzoeksteam vulde de Webb-data aan met metingen van de Hubbletelescoop en kwam uit op een hubbleconstante van 73,2 km/s/Mpc – ver onder de constante van 2013.
Dit toonde de hubblespanning aan.

Tien sterrenstelsels gemeten

Het team uit Chicago meende dat de afstand tussen de twee constanten te wijten is aan stof, gas en andere sterren die de Webb-metingen van de Cepheïden verstoren.
Daarom wilden ze de afstand meten tot tien naburige sterrenstelsels met zogeheten type Ia-supernova's.
Om discrepanties te verklaren, deed het team drie controlemetingen.



Dit is de Cepheïde RS Puppis, die in 2010 werd vastgelegd door de Hubbletelescoop. Deze ster staat in onze eigen Melkweg. Hij was geen deel van het onderzoeksproject van de Universiteit van Chicago.

Eerst met een aantal van de pulserende sterren. Daarna met de 'Tip of the Red Giant Branch', waarbij een ster met een lage massa een vaste bovengrens van zijn helderheid bereikt.

Tot slot maten ze koolstofsterren, die uniforme kleuren en helderheden hebben in het nabij-infraroodspectrum.
De metingen leverden drie hubbleconstanten op van respectievelijk 69,85 km/s/Mpc en 67,96 km/s/Mpc. Maar de Cepheïden gaven 72,04 km/s/Mpc.
Hoewel de laatste meting eruit springt, gaven alle vier de metingen samen een gemiddelde waarde van 69,96 km/s/Mpc.



Astronomen publiceren meest gedetailleerde infraroodkaart van de Melkweg: “We komen steeds dichter bij het begin van ons universum”

Astronomen hebben een kolossale infraroodkaart van de Melkweg gepubliceerd die meer dan anderhalf miljard objecten omvat – de meest gedetailleerde die ooit is gemaakt.

Met behulp van de VISTA-telescoop van de Europese Zuidelijke Sterrenwacht (ESO) heeft een team astronomen meer dan dertien jaar lang de centrale delen van ons Melkwegstelsel waargenomen. Met vijfhonderd terabytes aan gegevens is dit het grootste waarneemproject dat ooit met een ESO-telescoop is uitgevoerd.
De kaart bestaat uit 200.000 opnamen die werden gemaakt tijdens 420 nachten. “Hoe langer je waarneemt, hoe meer licht je binnenkrijgt, waardoor je een zeer gedetailleerde kaart krijgt”, weet hoogleraar sterrenkunde Leen Decin van de KU Leuven.



Een infraroodbeeld van de nevel Messier 17. — © ESO/VVVX survey

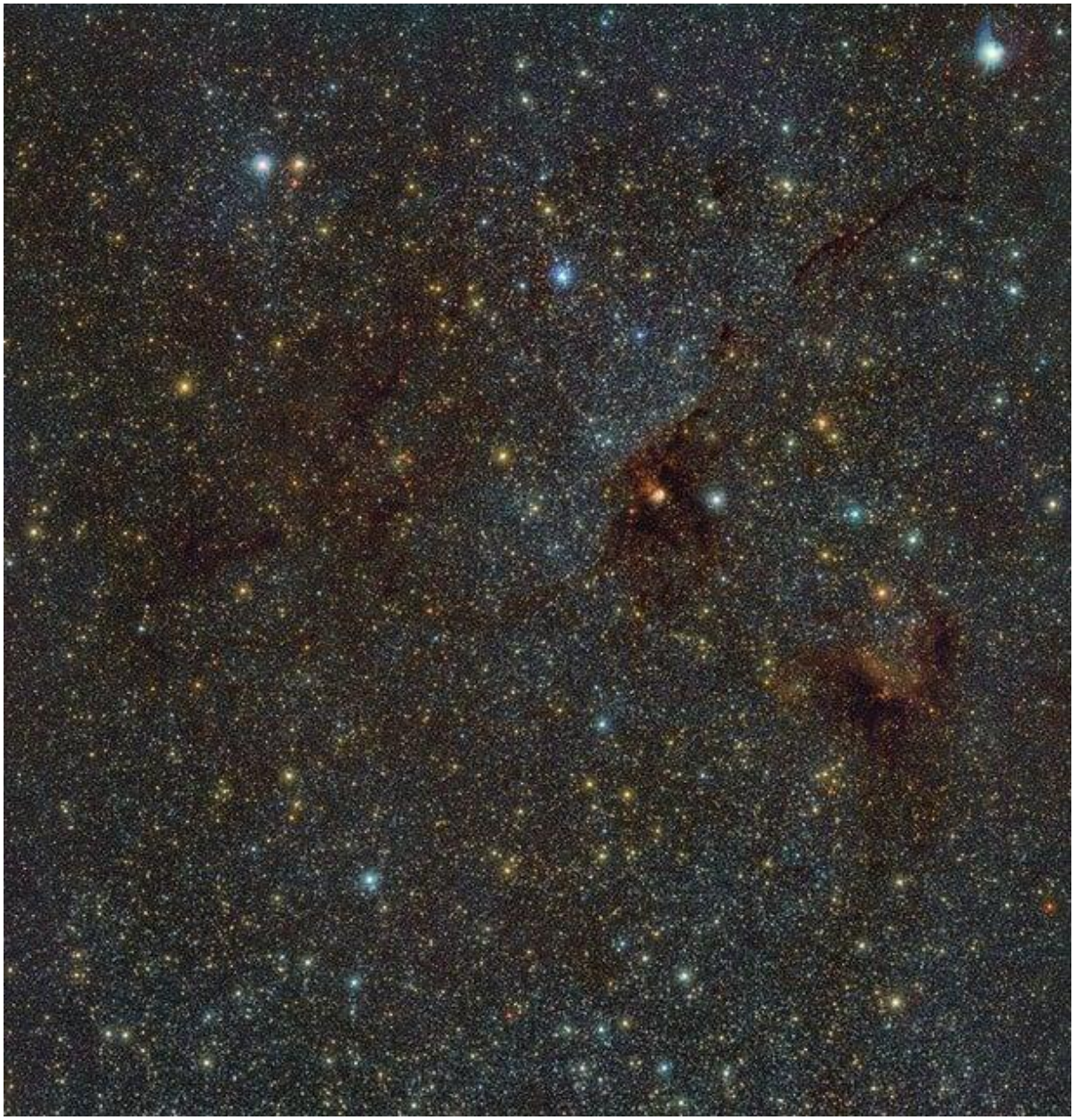
Infraroodcamera

Bij de studie werd gebruikgemaakt van een infraroodcamera, die door het stof en gas in ons sterrenstelsel heen kan kijken. “Hij is daardoor in staat om straling van de best verstopte plekjes in de Melkweg te zien, en opent zo een uniek venster op onze galactische omgeving”, zegt Dante Minniti, astronoom aan de Universidad Andrés Bello in Chili, die het project leidde. “We hebben zoveel ontdekkingen gedaan, dat we de kijk op ons Melkwegstelsel voor altijd hebben veranderd.”

Door elk stukje hemel vele malen waar te nemen, kon het team niet alleen de posities van de objecten bepalen, maar ook hun bewegingen volgen. Er werden sterren in kaart gebracht waarvan de helderheid periodiek verandert en die als kosmische ‘meetlatten’ kunnen worden gebruikt. Hierdoor is er een nauwkeurig 3D-beeld ontstaan van de centrale delen van de Melkweg.

“Onze Melkweg heeft veel spiraalarmen, die vol met stof zitten”, weet Leen Decin. “Met een gewone optische telescoop kunnen we daar niet goed diep in kijken. Met

een infraroodcamera kunnen we door dat stof heen veel dieper staren en dus steeds dichter komen bij het begin van ons universum.” *(Lees verder onder de afbeelding)*



Een infraroodbeeld van de nevel NGC 6188 en de sterrenhoop NGC 6193.

Hypersnelle sterren

De onderzoekers hebben ook hypersnelle sterren gevolgd: snel bewegende sterren die uit het centrum van het Melkwegstelsel zijn gekatapulteerd na een kortstondige ontmoeting met het superzware zwarte gat dat daar op de loer ligt.
Hoewel de surveys nu zijn voltooid, zal de wetenschappelijke analyse van de verzamelde gegevens nog tientallen jaren doorgaan. “Dit is nog maar het begin van het project. We beschikken nu over veel waarnemingen en de komende jaren zal heel veel onderzoek starten waarbij wetenschappers de verzamelde data zullen analyseren”, besluit Decin.



Een infraroodbeeld van de bolvormige sterrenhoop Messier 22. — © ESO/VVVX survey

Ruimtetelescoop James Webb ontdekt ‘vreemd’ sterrenstelsel dat inzicht verschaft in de jonge jaren van het universum

In dit bijzondere sterrenstelsel schijnt het gas helderder dan de sterren. En dat kan zomaar eens de ontbrekende schakel zijn tussen de allereerste sterren in het universum en de bekende sterrenstelsels van vandaag.
Onderzoekers hebben met behulp van ruimtetelescoop James Webb een opmerkelijke ontdekking gedaan. Zo zijn ze op een ‘vreemd’ en ‘ongekend’ sterrenstelsel in het vroege heelal gestuit, dat een bijzondere lichtspectra vertoont. De vondst biedt volgens de onderzoekers belangrijke nieuwe inzichten in de geschiedenis en de ontwikkeling van het universum.

Sterrenstelsel 9422

Het betreft het sterrenstelsel GS-NDG-9422, ook wel 9422 genoemd. Dit stelsel werd ontdekt ongeveer een miljard jaar na de oerknal en trok de aandacht door een unieke lichtsignatuur die nooit eerder is waargenomen. Het lijkt er namelijk op dat het gas in 9422 helderder schijnt dan de sterren. “Mijn eerste reactie toen ik het spectrum van het sterrenstelsel bekeek was: ‘dat is vreemd’,” herinnert onderzoeksleider Alex Cameron zich. “En dat is precies van de Webb-telescoop moest onthullen: totaal nieuwe fenomenen in het vroege heelal die ons zullen helpen begrijpen hoe het kosmische verhaal begon.

Onderzoekers beschouwen dit ‘volledig nieuwe fenomeen’ als belangrijk, omdat het mogelijk de ontbrekende schakel vormt in de evolutie van sterrenstelsels. Het zou namelijk de overgang kunnen zijn tussen de allereerste sterren in het universum en de sterrenstelsels die we vandaag de dag kennen.

Computermodellen

Cameron benaderde zijn collega Harley Katz, een theoreticus, om de vreemde gegevens te bespreken. Samen met hun team ontdekten ze dat computermodellen van kosmische gaswolken, verwarmd door zeer hete, massieve sterren die het gas helderder deden schijnen dan de sterren, bijna perfect overeenkwamen met de waarnemingen van Webb. “Het lijkt erop dat deze sterren veel heter en zwaarder moeten zijn dan de sterren die we in ons lokale heelal waarnemen,” zegt Katz. “Dit is logisch, aangezien het vroege heelal een totaal andere omgeving was.”

In het lokale heelal hebben gewone hete, massieve sterren temperaturen tussen de 40.000 en 50.000 graden Celsius. Het team ontdekte echter dat de sterren in sterrenstelsel 9422 heter zijn dan 80.000 graden Celsius.

Stervorming

De onderzoekers denken dat het sterrenstelsel zich in een tijdelijke fase van intense

stervorming bevindt, binnen een wolk van dicht gas die een groot aantal massieve, hete sterren voortbrengt. Deze gaswolk ontvangt zoveel licht van de sterren dat ze daardoor extreem helder straalt
.

Populatie III-sterren

Naast de opmerkelijkheid is het ook fascinerend dat nevelgas helderder is dan de sterren. Dit is namelijk iets wat eerder werd voorspeld voor de omgevingen van de eerste generatie sterren in het universum, die astronomen aanduiden als populatie III-sterren (zie kader).

Meer over de Populatie III-sterren

Populatie III-sterren zijn de allereerste sterren die zich na de oerknal vormden. Deze sterren leefden heel kort – mogelijk enkele honderdduizenden jaren – maar zijn wel belangrijk geweest voor de ‘evolutie’ van het universum. Deze sterren zetten lichte elementen in korte tijd om in zwaardere elementen, zoals zuurstof, stikstof, koolstof en ijzer. Zonder deze elementen waren wij er niet geweest, want ze zijn heel belangrijk voor het ontstaan van leven. Deze oersterren zijn tot op heden nog niet waargenomen. Maar mogelijk worden ze detecteerbaar als ze door zwaartekrachtlenzen zeer sterk worden vergroot, wat hoop geeft voor toekomstige observaties.
Volgens de onderzoekers betekent dit overigens niet dat Webb nu voor het eerst populatie III-sterren heeft ontdekt. “We weten dat sterrenstelsel 9422 geen populatie III-sterren bevat, omdat de gegevens van Webb te veel chemische complexiteit laten zien,” legt Katz uit. “Toch zijn de sterren anders dan wat we gewend zijn – de unieke sterren in dit sterrenstelsel kunnen ons helpen begrijpen hoe sterrenstelsels zijn overgegaan van oersterren naar de soorten sterrenstelsels die we tegenwoordig kennen.”