

Verslag van de vergadering van 13 november 2021

We kwamen wel wat problemen tegen. In de grote aula ontstond regelmatig een niet te harden lawaai. We kregen het probleem niet opgelost en we zijn dan maar verhuisd naar de Descarteszaal.

Wat de vergadering van december betreft is alles afwachten. Indien de toestand blijft of erger wordt, gaat die vergadering niet door. In elk geval zal het zonder taart en koffie zijn.

## **Het leven der sterren als voorwaarde voor leven op aarde en in de kosmos.**

Inleiding: Aarde en planetair leven

De drie stappen van evolutie

- 1 Materiële evolutie tijdens de dark ages
  - De scheiding tussen straling en materie
  - De achtergrond-baby foto van de vroege kosmos
- 2 Chemische evolutie via de zich ontwikkelende sterren
  - Kringloop van de kosmische materie
  - Sterpopulatie 3
  - Sterpopulatie 2
  - Sterpopulatie 1
- 3 Biologische evolutie
  - Oorsprong van het leven op aarde
  - Even op land
  - Hoger leven

Exoplaneten

De vondst van exoplaneten

De vraag naar exoplanetair leven

## Conclusies

Kwantitatief grote vondst van exoplaneten

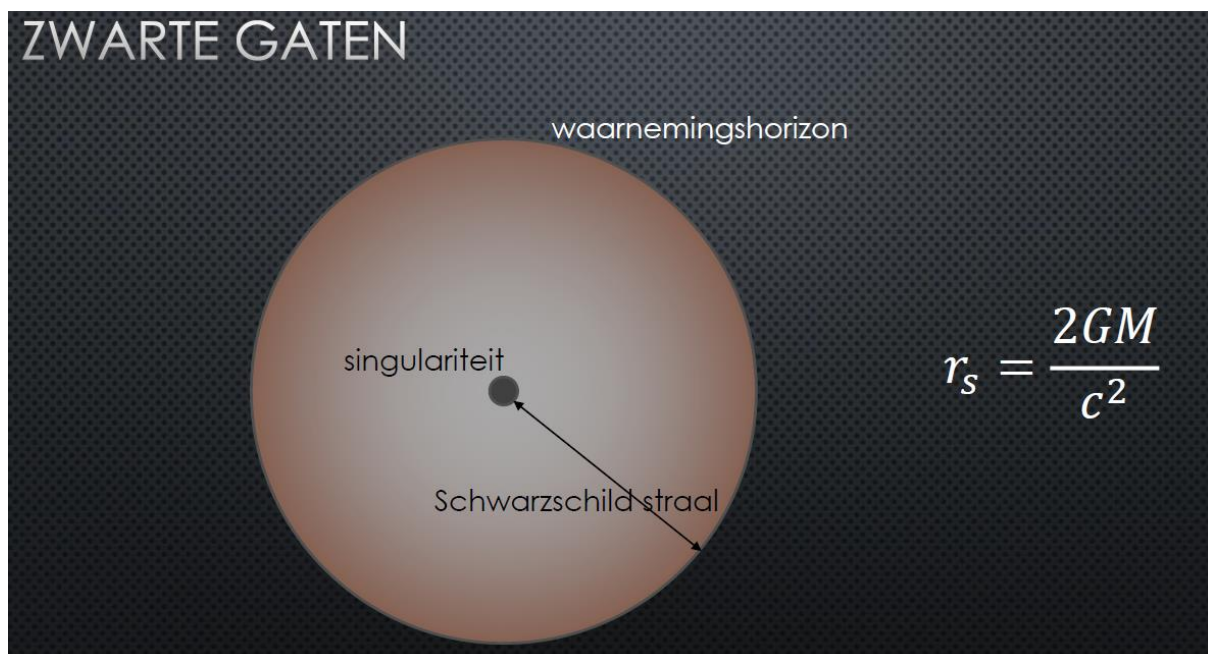
Een doormonstering van oude sterpolities

Kwalitatief nog niet toereikend vermogen van de huidige middelen voor de beoordeling van leven op exoplaneten in ons sterrenstelsel.

**Helmut**

## Primordiale zwarte gaten

Over zwarte gaten is wel het een en ander bekend, zowel theoretisch als observationeel. Zwarte gaten zijn objecten met een heel hoge massadichtheid, zo hoog dat de ontsnappingsnelheid groter is dan de lichtsnelheid. Volgende figuur illustreert hoe een zwart gat er op hoofdlijnen uitziet.



De meest bekende en gekende manier waarop zwarte gaten ontstaan is als het eindresultaat van sterevolutie. Massieve sterren, met een massa van minstens 8 keer de massa van de zon, eindigen hun

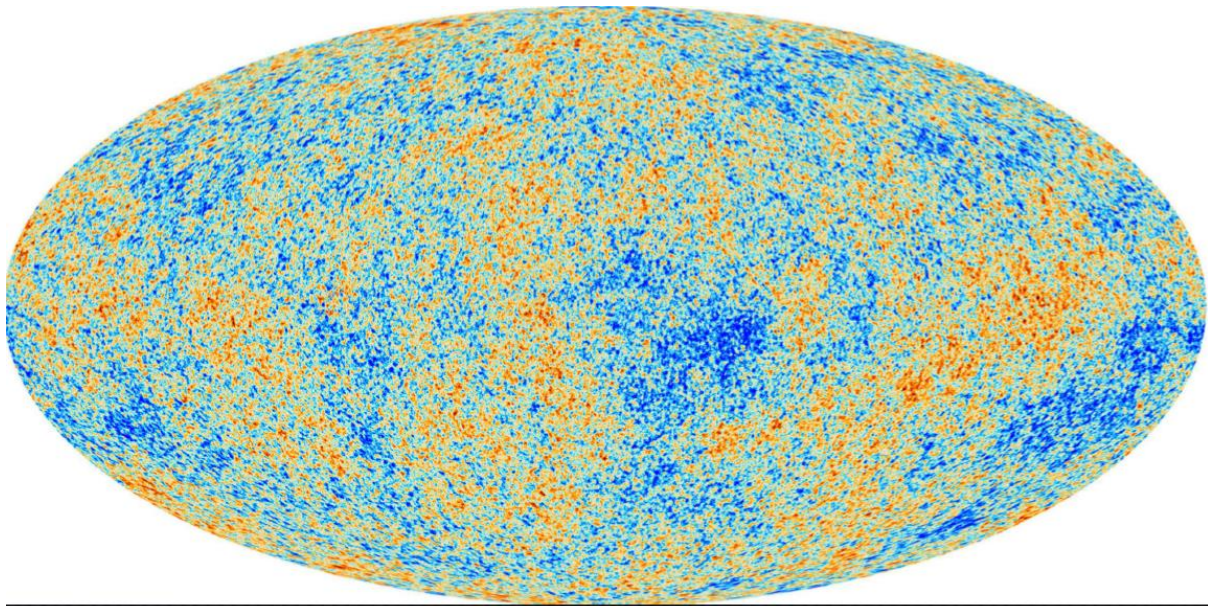
bestaan als zwart gat. Dat is theoretisch goed begrepen, en dit soort zwarte gaten neemt men ook waar.

Daarnaast zijn er ook superzware, of beter supermassieve, zwarte gaten, met massa's van wel miljarden keer de massa van de zon. Dit type komt vooral voor in het centrum van melkwegstelsels, zoals ook in onze eigen Melkweg, waar het centrale zwarte gat bekend is onder de naam Sagittarius A\*. Hoe dit soort zwarte gaten gevormd worden is niet helemaal duidelijk: wellicht door accretie van andere objecten waaronder zwarte gaten, of misschien ook wel door implosie van zeer grote gaswolken.

Een derde type van zwarte gaten zijn dan de primordiale. Deze zouden gevormd zijn kort na de oerknal. Zouden, want ze zijn nog niet observationeel bevestigd. Dit type van zwarte gaten zou ook veel minder massief kunnen zijn, met massa's veel kleiner dan de vorige twee types. Primordiale zwarte gaten zouden dan ook vooral herkenbaar kunnen zijn aan hun kleine massa, want zwarte gaten met kleine massa kunnen niet het eindresultaat zijn van sterevolutie, en supermassief zijn ze al zeker niet.

Theoretisch is er geen enkele reden waarom kleine zwarte gaten niet zouden kunnen bestaan. Zo zou een zwart gat met de massa van de zon een straal (Schwarzschildradius) hebben van ongeveer 3km, een met de massa van de aarde slechts 9mm. Alleen, de vorming van dit soort van kleine zwarte gaten vereist wel een mechanisme of proces waarbij op een of andere manier een hoge massa- en/of energiedichtheid wordt gerealiseerd.

Welnu, kort na de oerknal, en voordat het heelal transparant werd, waren de omstandigheden er wel naar. Tijdens de periode van inflatie traden quantumfluctuaties op waarbij de verdeling van materie inhomogeen is geworden. Dat resultaat zien we in de kosmische achtergrondstraling, zoals nauwkeurig gemeten met de Planck sonde, zie volgend beeld.



[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2013/03/Planck\\_CMB](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Planck_CMB)

Een interessante hypothese is dat dergelijke primordiale zwarte gaten een verklaring zouden kunnen zijn voor donkere materie. Hawking heeft dat al geopperd in de jaren 1970. Het is nog steeds mogelijk, maar nog niet bevestigd.

Het waarnemen van zwarte gaten is dan ook niet makkelijk, zeker niet van kleine, relatief weinig massieve zwarte gaten. De bekendste manier is met behulp van gravitatielenzen, waarbij licht van een object dat ten opzichte van de waarnemer achter een zwart gat staat, vervormd wordt onder invloed van de gravitationele invloed van het zwarte gat.

Heel kleine zwarte gaten die al aan het eind van hun bestaan zijn, eindigen hun leven wellicht met een uitbarsting van gamma stralen – een gamma ray burst. Deze zouden misschien te onderscheiden zijn van andere uitbarstingen van gamma stralen, maar dat is nog niet bevestigd. Zwarte gaten verliezen heel langzaam hun massa door het fenomeen dat bekend staat onder de naam Hawking-straling. Elk zwart gat verdwijnt zo, uiteindelijk. Maar het zouden alleen heel kleine, oude zwarte gaten zijn die nu al “op” zijn.

Een veelbelovende manier om primordiale en andere zwarte gaten waar te nemen is met behulp van zwaartekrachtgolven, zie figuur

hieronder. Zwarte gaten zelf zijn op die manier ook niet direct waarneembaar, maar wel als er twee gaan samensmelten. Deze zogeheten “mergers” genereren zwaartekrachtgolven, trillingen van de ruimtetijd. Met behulp van de VIRGO en LIGO detectoren is dit al waargenomen, maar steeds voor tamelijk massieve zwarte gaten. Een belangrijk doel van de op stapel zijnde Einstein Telescoop is dan ook het zoeken naar kleine, mogelijks primordiale, zwarte gaten. De Einstein Telescoop wordt een gravitatiegolfdetector die kans maakt om gebouwd te worden bij Vaals op het drielandenpunt. Het zou fantastisch zijn dat we over een aantal jaren daar dan misschien wel de eerste waarnemingen van primordiale zwarte gaten gaan zien.



**BART**