



University Medical Center Groningen

University of Groningen

Large-scale filaments and the intergalactic medium

Kooistra, Robin Rinze

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2018

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Kooistra, R. R. (2018). Large-scale filaments and the intergalactic medium. [Groningen]: Rijksuniversiteit Groningen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

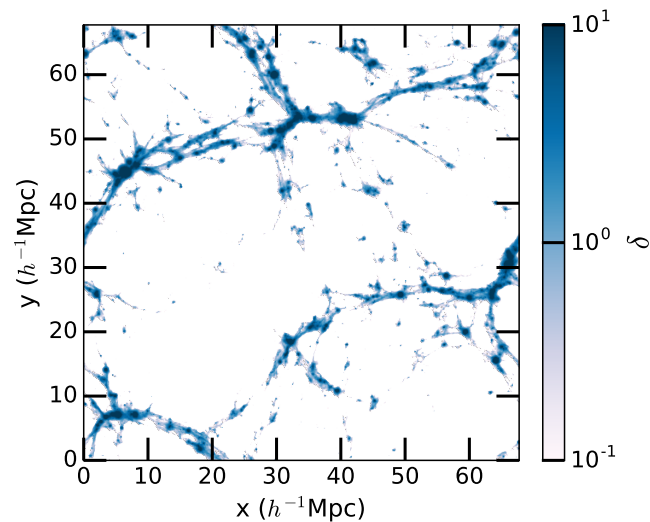
Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Wanneer we de verdeling van materie in het huidige universum op de grootste schalen bekijken, zien we een ingewikkeld patroon van knooppunten, aan elkaar verbonden door draadvormige filamenten, met grote leegtes er tussenin, zie figuur 1. De filamenten en hun knooppunten zijn de gebieden met de grootste dichtheden in het universum. In het geheel lijkt hun patroon op een spinnenweb en het wordt daarom ook wel het kosmische web genoemd. De meeste sterrenstelsels worden gevormd in filamenten. Al het gas buiten de sterrenstelsels wordt het intergalactische medium genoemd (IGM). Gas in het IGM bestaat voornamelijk uit waterstof en helium. Het IGM in de



Figuur 1: Het kosmische web in een simulatie. De dichtheid in het IGM is hoger in de donkere pixels.

filamenten kan de evolutie en formatie van de sterrenstelsels beïnvloeden. Via de filamenten kan een nieuwe voorraad gas naar de sterrenstelsels worden getransporteerd. Met dit gas kunnen sterren worden gevormd. Om de formatieprocessen van sterren en sterrenstelsels beter te begrijpen is het belangrijk om de eigenschappen van het gas te bestuderen.

Door de hoeveelheid van het neutrale gas te meten wordt het mogelijk om de temperatuur en de ionisatietoestand in het IGM te bepalen. Echter, het hedendaagse universum is sterk geïoniseerd. De voorraad met neutraal gas bevindt zich voornamelijk in sterrenstelsels, maar is ook verspreid door het diffuse IGM in de filamenten. Door de hoge ionisatiegraad is de dichtheid van het neutrale gas laag, wat het moeilijk maakt dit gas te vinden. De meeste observaties van het IGM zijn dan ook indirecte geweest of waren gericht op het geïoniseerde gas. In de afgelopen jaren zijn er gevoeligere telescopen beschikbaar gekomen en door gebruik te maken van nieuw ontwikkelde technieken begint het nu mogelijk te worden om het IGM rechtstreeks te detecteren.

Het doel van dit proefschrift is om te bepalen of huidige en aankomende instrumenten de temperatuur- en ionisatietoestand in het IGM kunnen meten. Bovendien wordt er gekeken naar de mogelijkheid om het neutrale waterstofgas in de sterrenstelsels met lage massa in filamenten waar te nemen die normaal gesproken te zwak zouden zijn voor een individuele detectie. Experimenten waarmee dit zou kunnen worden gedaan maken gebruik van sterke emissielijnen in het spectrum van neutraal waterstof.

De Lyman alpha emissielijn van neutraal waterstof wordt uitgestraald op ultraviolette (UV) golflengtes en wordt besproken in hoofdstuk 2 van dit proefschrift. In dit hoofdstuk worden de benodigdheden gepresenteerd voor een experiment waarmee Lyman alpha-emissie van het IGM en sterrenstelsels in kaart kan worden gebracht. Hiermee kan de grote schaal structuur beter worden bestudeerd dan mogelijk is met conventionele observaties van sterrenstelsels. Ook wordt bepaald wat de benodigde gevoeligheid en resolutie is voor een experiment om de signalen van het IGM en de sterrenstelsels te scheiden. Het werk in dit hoofdstuk laat zien dat de aankomende generatie van UV ruimtetelescopen een dergelijke observatie mogelijk zal maken.

Voor de emissielijn van neutraal waterstof met een golflengte van 21 cm is een radiotelescoop nodig. In de resterende hoofdstukken van dit proefschrift

wordt een methode toegepast waarbij de positie aan de hemel van de filamenten eerst wordt bepaald met behulp van de al vooraf gemeten posities van sterrenstelsels, waarna het 21 cm signaal van het IGM en de zwakke sterrenstelsels kan worden gemeten door alle emissie in een filament samen te integreren. In hoofdstuk 3 wordt een model beschreven waarmee het signaal van een filament met behulp van simulaties kan worden berekend. Er wordt aangetoond dat een aantal radiotelescopen in staat zullen zijn om de filamenten op deze manier te detecteren. Als het zichtsveld van de telescoop groot genoeg is wordt het zelfs mogelijk om het signaal van meerdere filamenten te detecteren, ongeacht hun oriëntatie.

In hoofdstuk 4 worden de methodes uit hoofdstuk 3 in meer detail toegepast op de Square Kilometre Array (SKA). Dit is een toekomstige radiotelescoop en de meest gevoelige van de telescopen die zijn besproken in hoofdstuk 3. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een realistische simulatie die belangrijke astrofysische processen toepast, zoals verhitting van het gas door schokken en lokale verhitting door de straling van sterrenstelsels. Daarnaast wordt de onzekerheid in de intensiteit van de kosmische UV achtergrondstraling besproken. Dit resulteert in een 21 cm signaal wat een factor $\sim 10 - 100$ lager is dan de waarde die wordt gevonden in hoofdstuk 3. Desondanks zal een telescoop met de gevoeligheid van de eerste fase van de SKA het mogelijk maken om een handvol nabije filamenten te detecteren met behulp van geïntegreerde 21 cm straling. Als de tweede fase van de SKA beschikbaar komt, zal het mogelijk zijn om de condities in het IGM in filamenten statistisch nauwkeuriger vast te stellen.

Tot slot worden in hoofdstuk 5 dezelfde methodes toegepast om te bepalen hoeveel emissie van zwakke sterrenstelsels kan worden gevonden door de filamenten te volgen. In dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt tussen radio observaties met de "Apertif medium deep survey" en observaties op optische/infrarode golflengtes met de Sloan Digital Sky Survey (SDSS) in hun vermogen om het kosmische web op te sporen. Dit laat zien dat SDSS voornamelijk de meest duidelijke structuren weet te vinden, maar met Apertif kunnen bijna twee keer zoveel filamenten worden gevolgd en daarmee ook een grotere populatie van relatief jonge sterrenstelsels. Door de 21 cm emissie van alle zwakke sterrenstelsels in deze filamenten te integreren wordt het mogelijk om een grote hoeveelheid gas te vinden die anders verborgen zou zijn in de ruis.

