



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Revealing the nature of new low-frequency radio source populations

Mandal, S.

Citation

Mandal, S. (2020, December 10). *Revealing the nature of new low-frequency radio source populations*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/138639>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/138639>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/138639> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Mandal, S.

Title: Revealing the nature of new low-frequency radio source populations

Issue Date: 2020-12-10

Nederlandse samenvattig

De oerknaltheorie suggereert dat ons universum ongeveer 13,7 miljard jaar geleden begon in een begintoestand van zeer hoge temperatuur en dichtheid. De geschiedenis van de vorming van het heelal is al sinds de oudheid een onderwerp van discussie en heeft in de afgelopen decennia veel belangstelling gekregen vanwege de verbeteringen van de astronomische gegevens en technologische vooruitgangen. Op grote schaal is ons huidige universum opmerkelijk homogeen en isotroop. Studies tonen echter aan dat kleine variaties in de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling (CMB) uiteindelijk leiden tot kleinschalige variaties in dichtheid. Onder invloed van de zwaartekracht groeiden deze kleinschalige schommelingen in dichtheid hiërarchisch en vormden ze wolken van gas, sterren, sterrenstelsels en uiteindelijk de grootste (massa's tot 10^{15} zonsmassa's) gravitationeel gebonden structuren: clusters van sterrenstelsels. Ongeveer 80% van de massa van clusters bestaat uit donkere materie en de rest uit baryonische materie. De enige interactie tussen donkere materie en baryonische materie is door middel van zwaartekracht.

Clusters van sterrenstelsels groeien door het aantrekken van kleinere groepen sterrenstelsels en door grote botsingen met andere clusters. Deze botsingen kunnen een enorme hoeveelheid gravitationele energie vrijgeven die kan worden verspreid door schokgolven en turbulentie die het intra-cluster medium (ICM) kunnen opwarmen. Direct bewijs van dergelijke gebeurtenissen kan worden gevonden door middel van röntgen waarnemingen van clusters van sterrenstelsels. Bovendien kunnen schokken en turbulentie ook de magnetische velden versterken en het ruimtelijk transport van de relativistische deeltjes (die ook bek-

end staan als kosmische straling, CR: cosmic rays in het engels.) beïnvloeden. Onder invloed van magnetische velden kunnen deze relativistische geladen deeltjes synchrotronstraling uitzenden die we kunnen waarnemen op radiogolflengten. Deze radiostraling heeft typisch een steile 'spectrale index', wat betekent dat het helderder is op lagere frequenties en zwakker op hoge frequenties. De aanwezigheid van CR-elektronen en magnetische velden in het ICM die via synchrotronstraling grote diffuse radiobronnen genereren, heeft fundamentele implicaties voor zowel de fysica van het ICM als de evolutie van de grootschalige structuur van het heelal.

In de afgelopen decennia is er aanzienlijke vooruitgang geboekt met het classificeren van diffuse radiobronnen in de ICM. Op basis van de morfologie en fysische eigenschappen kunnen deze bronnen grofweg worden onderverdeeld in twee categorieën: radio halo's en radio-relikwieën. Beide soorten bronnen hebben geen duidelijke optische tegenhangers (sterrenstelsels). Radio halo's zijn diffuse radiobronnen op Mpc-schaal, die zich doorgaans in het centrum van botsende clusters bevinden en de vorm van de röntgenstraling van het systeem volgen. Waarnemingen van radio halo's suggereren dat deze bronnen hoogstwaarschijnlijk worden gecreëerd door het continu opnieuw versnellen van CR-elektronen in het turbulente gas. Daarentegen worden radio-relikwieën meestal gevonden aan de rand van botsende clusters en hebben ze een convexe vorm ten opzichte van het centrum van de cluster. Aangenomen wordt dat radio-relikwieën de door de botsingen veroorzaakte schokgolven traceren. In de eerste plaats wordt gedacht dat schokken deeltjes versnellen via een mechanisme dat diffuse schok versnelling (DSA) wordt genoemd. De efficiëntie van dit mechanisme blijkt echter erg laag en onvoldoende te zijn om heldere radio-relikwieën te creëren, zoals gevonden in recente waarnemingen. Om deze reden is de aanwezigheid van reeds bestaande relativistische deeltjes (ook bekend als 'zaad-deeltjes' of 'fossiel plasma') voorgesteld, aangezien simulaties aangeven dat versnelling van zaad-deeltjes efficiënter is dan de DSA. Een soortgelijk scenario is ook voorgesteld voor het genereren van radio halo's die het bestaan van licht relativistische zaad-elektronen vereisen. In dit opzicht is een van de belangrijkste vragen die beantwoord moet worden de bron van deze fossiele elektronen in het ICM.

Het is inmiddels bekend dat clusters van sterrenstelsels actieve galactische kernen (AGN's) herbergen die CR-elektronen in het ICM injecteren en in de aanwezigheid van magnetische velden radiostraling kunnen genereren. Dergelijke AGN's staan bekend als radiostelsels en gaan vaak gepaard met enkele of dubbele radiolobben die zich tot zeer grote schaal kunnen uitstrekken. Deze energetische CR-elektronen uit de lobben van radiostelsels zijn belangrijke kandidaten die een zaad-populatie van relativistisch fossiel plasma kunnen leveren.

Wanneer de centrale AGN van een radiostelsel uitschakelt, is er geen toevoer van energetische elektronen naar de lobben en kunnen deze ‘AGN-restlobben’ zich uitspreiden in het omringende medium. Door verschillende processen (zoals synchrotron en stralingsverliezen) wordt hun spectrum pas na enkele tientallen miljoenen jaren steiler en worden ze zeer moeilijk te detecteren, zelfs op de laagst waarneembare frequenties. Daarom is het bestuderen van deze fossiele plasmapronen in clusters niet triviaal. Door botsingen aangedreven turbulentie, schokgolven en bulkstromen van het omringende medium kunnen deze fossiele elektronen echter opnieuw activeren en waarneembare radiogolven uitzenden. Deze bronnen van ‘nieuw leven ingeblazen fossiel plasma’ (die ook bekend staan als **radio feniksen**) bieden ons dus een unieke kans om deze anders onzichtbare populatie elektronen te bestuderen. Tot op heden zijn er maar heel weinig radio feniksen ontdekt. Om de onderliggende versnellingsmechanismen van deeltjes te begrijpen en of er een verband bestaat tussen radiostelsels en versnellingsmechanismen in radio halo’s en relikwieën, is het essentieel om systematisch hun gemeenschappelijke fysische eigenschappen te identificeren en ze te vergelijken met die van radio halo’s en relikwieën.

Laagfrequente radiosurveys van de hele hemel zijn uitstekend om deze studies systematisch uit te voeren. Kalibratie van laagfrequente radio data is echter altijd een uitdaging geweest vanwege de richtingsafhankelijke, tijd-variërende effecten van de ionosfeer. De ionosferische effecten zijn veel ernstiger voor het laagste frequentie deel van het radiospectrum, waardoor het een van de belangrijkste beperkende factoren is voor hoge resolutie laagfrequente radiowaarnemingen. Bovendien is het blikveld bij deze lage frequenties veel groter dan bij hoge frequenties. Daarom is het gebruik van traditionele technieken en het toepassen van een enkele correctiefactor om ionosferische effecten in het gehele blikveld te corrigeren te simplistisch en niet voldoende.

Zeer recent, met de komst van een nieuwe generatie laagfrequente telescopen (zoals LOFAR, MWA, uGMRT, MeerKAT enz.) en betere kalibratietechnieken, is het mogelijk geworden om de laagfrequente radiohemel te onthullen met ongekende diepte en gevoeligheid. Deze instrumenten zijn ook enkele van de belangrijkste padvindende voor de toekomstige generatie telescoop: de Square Kilometre Array (SKA; zal worden gebouwd in Zuid-Afrika en Australië). Ook al is het aantal van zulke waarnemingen momenteel zeer beperkt, de complexiteit van objecten die met deze nieuwe instrumenten worden waargenomen heeft de traditionele taxonomie van diffuse radiobronnen al in twijfel getrokken. Het is duidelijk dat het laagst waarneembare venster van de elektromagnetische straling een volledig onbekend terrein is en daarom vol potentie zit voor nieuwe ontdekkingen. Voordat we de wetenschappelijke vragen behandelen, is het echter

erg belangrijk om ervoor te zorgen dat deze radiobeelden van diepe laagfrequente surveys nauwkeurig zijn gekalibreerd en betrouwbaar zijn. 'Radiobron tellingen' - een van de verschillende kosmologische tests om nieuwe kosmologische modellen te controleren - is een onmiddellijk dataproduct van deze beelden dat kan worden gebruikt als een controle van de datareductie en om de statistische eigenschappen van de (zwakke) populatie van radiobronnen te onderzoeken. In dit proefschrift hebben we twee verschillende aspecten behandeld:

- De aard van de nieuw leven ingeblazen fossiele (radio) plasmabronnen in clusters van sterrenstelsels beter begrijpen en ze neerzetten als een aparte klasse van radiobronnen (Hoofdstuk 2,3 en 4).
- De diepste radiobron tellingen bij 150 MHz (tot nu toe) afleiden uit diepe laagfrequente radiobeelden en vergelijken met de andere bestaande studies, evenals met state-of-the-art evolutionaire modellen (Hoofdstuk 5).

Hieronder beschrijven we in het kort de inhoud van elk hoofdstuk: In **Hoofdstuk 2** hebben we de botsende cluster van sterrenstelsels Abell 1914 in detail bestudeerd met diepe radio- (LOFAR, GMRT en VLA), röntgen (Chandra) en optische (CFHT) data. Deze nieuwe waarnemingen laten zien dat de bron met het ultra-steile spectrum in dit cluster, waarvan eerder werd gedacht dat het deel uitmaakte van een radio halo, een aparte bron is met de eigenschappen die consistent zijn met een radio feniks. **Hoofdstuk 3** demonstreert de potentie van laagfrequente radio surveys van de hele hemel voor het vinden en bestuderen van van nieuw leven ingeblazen fossiele plasmabronnen in clusters van sterrenstelsels. In dit hoofdstuk hebben we een subset van 3 kandidaten bestudeerd (waarvan 2 nieuwe ontdekkingen) met behulp van nieuwe multi-band radio, röntgen en oude optische data. Het artikel bespreekt de mogelijke gemeenschappelijke eigenschappen van deze bronnen en we identificeren ze in de categorie van radio feniksen. In **Hoofdstuk 4** geven we een overzicht van alle bekende (of kandidaat-) radio feniksen. Van de 25 getoonde bronnen zijn er 12 nieuwe ontdekkingen. Voor deze bronnen presenteren we nieuwe radio (GMRT en/of LOFAR) en, voor een deelverzameling, röntgen waarnemingen. Voor het eerst worden de algemene fysische eigenschappen (de vorm, dynamische toestand van de cluster, locatie van de feniksen in de cluster en spectraal gedrag) van de hele steekproef van radio feniksen bestudeerd, om de aard van deze relatief onbekende klasse van objecten te achterhalen. We vinden dat deze bronnen voorlopig een AGN-oorsprong lijken te hebben en ruim binnen de binnenste regio's van de clusters liggen. De clusters blijken dynamisch niet ontspannen te zijn en daarom ondersteunen we het formalisme dat feniksen worden geassocieerd met

ICM-beweging en/of schokken. De steekproef die in dit hoofdstuk wordt gepresenteerd is waarschijnlijk nog steeds het topje van de ijsberg van deze klasse van bronnen en toekomstige diepere laagfrequente radio observaties zullen cruciaal zijn om een zuivere statistische steekproef van deze klasse te maken. Ten slotte, presenteren we in **Hoofdstuk 5** de tellingen van radiobronnen die zijn afgeleid van zeer diepe radiobeelden die zijn waargenomen met de LOFAR-telescoop. Tot op heden zijn dit de diepste tellingen die ooit zijn gemaakt bij 150 MHz. Deze worden vergeleken met andere bestaande bepalingen, evenals met state-of-the-art simulaties. Onder de 1 mJy zien we de (verwachte) afvlakking van de genormaliseerde tellingen, voornamelijk geassocieerd met de opkomst van de populatie van stervormende sterrenstelsels. In de toekomst zullen deze diepe radiogegevens ons kritisch in staat stellen om de zwakke radiobronnen goed te bemonsteren over verschillende waarden van helderheid en roodverschuiving.

