



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Merging galaxy clusters: probing magnetism and particle acceleration over cosmic time

Di Gennaro, G.

Citation

Di Gennaro, G. (2021, July 8). *Merging galaxy clusters: probing magnetism and particle acceleration over cosmic time*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3188671>

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/1887/3188671>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/3188671> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Di Gennaro, G.

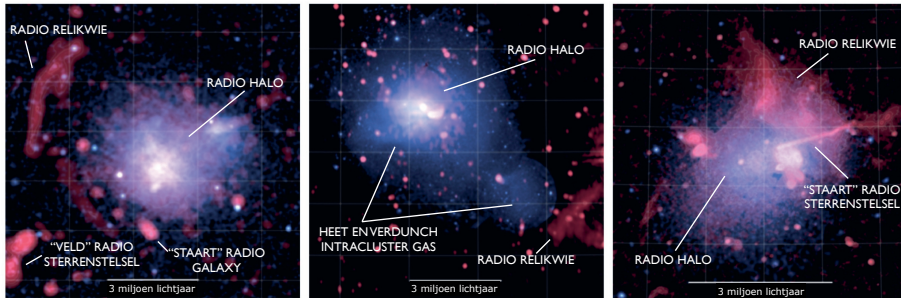
Title: Merging galaxy clusters: probing magnetism and particle acceleration over cosmic time

Issue date: 2021-07-08

NEDERLANDSE SAMENVATTING

Clusters van sterrenstelsels zijn de grootste objecten in het heelal die door de zwaartekracht bij elkaar worden gehouden. Ze kunnen een grootte bereiken van miljoenen lichtjaren ($\gtrsim 1$ Megaparsec) en een massa van honderden biljoenen zonsmassa's ($\gtrsim 10^{14} M_{\odot}$). Clusters bestaan uit duizenden sterrenstelsels, die slechts een klein percentage van de totale massa van deze objecten vertegenwoordigen. Het grootste deel van het zichtbare licht wordt geproduceerd door deeltjes (elektronen en protonen) die de ruimte tussen sterrenstelsels vullen, het zogenaamde *intracluster medium* (ICM). Het ICM is zichtbaar bij röntgengolflengten (Fig. 6.14). Volgens de huidige theorie groeien clusters van melkwegstelsels door botsingen met andere clusters of groepen melkwegstelsels, en worden verondersteld de laatste structuren te zijn die zich in het heelal hebben gevormd. Clusters in de fase van botsing worden *botsende clusters* genoemd. Studies schatten dat deze grote structuren zich hebben gevormd toen het heelal slechts 3-4 miljard jaar oud was.

Cluster botsingen zijn de meest energieke gebeurtenissen sinds de oerknal. Tijdens deze botsingen komt een deel van de energie vrij in turbulentie en schokgolven. Deze hebben een grote invloed op het ICM, resulterende in een verstoorde morfologie. Bovendien zijn botsende clusters in staat om de elektronen die tussen sterrenstelsels zwerven te versnellen tot bijna de lichtsnelheid en om de magnetische velden van clusters te versterken. De interactie van versnelde deeltjes met magnetische velden produceert groot-schalige diffuse radio-emissie, die niet geassocieerd is met de emissie van een zwarte gat in het centrum van een sterrenstelsel. Deze structuren van diffuse radiostraling worden *radio halo's* of *radio relikwieën* genoemd (Fig. 6.13).



Figuur 6.13: Drie voorbeelden van lokale clusters van sterrenstelsels waargenomen op radio (rood) en röntgen (blauw) golflengtes. Van links naar rechts: Abell 2744, Coma en Abell 2256. De radio-emissie traceert versnelde deeltjes en magnetische velden, terwijl de röntgenemissie het hete en verdunde intraclustergas. Afbeeldingen gemaakt en aangepast van van Weeren et al. (2019).

- Radio halo's zijn min of meer ronde bronnen die zich in het midden van de cluster bevinden. Ze volgen over het algemeen de morfologie van het ICM van röntgenstraling.
- Radio relikwieën zijn langwerpige structuren die zich aan de randen van een cluster bevinden. Recent gecombineerde radio- en röntgen waarnemingen hebben aangetoond dat ze zich op de positie van röntgenshokken bevinden. Radio waarnemingen met hoge resolutie hebben aangetoond dat relikwieën een filamentaire structuur hebben.

Ondanks de vooruitgang van kennis van de afgelopen decennia is het nog onduidelijk wat de oorsprong is van de diffuse radiostraling in clusters. Er wordt aangenomen dat radio-relikwieën worden geproduceerd als gevolg van een schok die propageert naar de rand van het cluster. Het idee is dat de schokgolf magnetische velden ordent en versterkt, terwijl deeltjes worden versneld in de schok. De precieze aard van het fysische versnellingsmechanisme is nog onduidelijk. Een van de uitdagingen is dat cluster schokken niet heel sterk zijn ($\mathcal{M} \lesssim 3$), en dan zouden de deeltjes niet efficiënt versneld moeten kunnen worden. Daarom is de aanwezigheid van reeds bestaand relativistisch plasma, zoals dat in de lobben van radio-stelsels, vereist. In sommige clusters is een duidelijk morfologisch verband gevonden tussen radiostelsels en radio relikwieën, wat het laatste scenario ondersteunt. Ten slotte, als gevolg van de compressie van het magnetische veld, zijn radio relikwieën ook gepolariseerd. Aangenomen wordt dat radio halo's worden geproduceerd als gevolg van de turbulentie die wordt gegenereerd door de botsende clusters. Recent studies hebben een duidelijk verband gevonden tussen de dynamische toestand van clusters en de ken-

merken van radio halo's. Vooral in de meest massieve (en dus energetische) systemen blijken zich de meest heldere radiohalo's te bevinden.

Diffuse radiostraling in clusters is overtuigend bewijs voor de aanwezigheid van magnetische velden op μ Gauss niveau. Deze waarde wordt verkregen voor objecten in de buurt, waarbij de verandering van de gepolariseerde emissie van achtergrondbronnen wordt geanalyseerd (d.m.v. Faraday rotatiemetingen). Het is nog een open vraag hoe magnetische velden dergelijke niveaus bereiken, en waar de magnetische velden vandaan komen. Er zijn twee hoofdscenario's geïdentificeerd: men gaat ervan uit dat magnetische velden worden gegenereerd tijdens de eerste fasen van de geschiedenis van het heelal, vóór de vorming van de eerste sterren en sterrenstelsels (d.w.z. *oorspronkelijke oorsprong*); de andere veronderstelt dat magnetische velden worden uitgestoten door sterrenstelsels, winden en/of jets (d.w.z. *astrofysische oorsprong*). Voor beide scenario's moeten de initiële magnetische velden worden versterkt gedurende de tijd om de niveaus te bereiken die we meten in het huidige universum. Algemeen wordt aangenomen dat turbulentie als gevolg van botsingen van clusters een grote rol speelt, hoewel het exacte proces dat de versterking veroorzaakt nog steeds niet goed wordt begrepen.

Dit proefschrift heeft als doel de versnellingsmechanismen te onderzoeken die worden aangedreven door botsing-geïnduceerde schokgolven en turbulentie, en de evolutie van de diffuse radio-emissie (en dus magnetische velden in clusters) in de kosmologische tijd. Dit onderzoek is mogelijk dankzij hooggevoelige en hoge resolutie radio- en röntgenwaarnemingen. In het bijzonder zijn in dit proefschrift radiowaarnemingen met de Karl-Jansky VLA, LOFAR en verbeterde uGMRT gecombineerd met röntgenobservaties van Chandra, XMM-Newton en Suzaku. In **Hoofdstuk 2** en **Hoofdstuk 5** zijn de spectrale en polarisatie-eigenschappen van het radio-relikwie in CIZA J2242.8+5301 bestudeerd. Dankzij diepe VLA-waarnemingen met hoge resolutie werd ontdekt dat de bron uit verschillende filamenten bestaat. Het is nog onduidelijk of dit komt door de complexe vorm van het schokoppervlak en/of door inhomogeniteiten van magnetische velden. De eigenschappen van de schok in ZwCl 0008.8+5215 zijn weergegeven in **Hoofdstuk 3**. Hier werden met behulp van diepe Chandra en Suzaku waarnemingen variaties in de schoksterkte over de lengte van de schok onderzocht om de morfologische eigenschappen van de diffuse radiostraling te verklaren. De evolutie van de magnetische velden op cluster schaal wordt gepresenteerd in **Hoofdstuk 4**, waarin een groep van verre ($z \geq 0.6$) clusters van sterrenstelsels wordt bestudeerd die zijn waargenomen met LOFAR. De radio sterkte is vergelijkbaar met die gemeten in nabijgelegen systemen een resultaat in verrassend hoge magnetische velden ($\sim$ few μ Gauss). De spectrale eigenschappen van deze verre radio halo's worden onderzocht in **Hoofdstuk 6** met behulp van nieuwe uGMRT-waarnemingen. Deze informatie is cruciaal om het huidige model van vorming van de diffuse radiostraling te testen.

