



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## **When galaxy clusters collide : the impact of merger shocks on cluster gas and galaxy evolution**

Stroe, A.

### **Citation**

Stroe, A. (2015, September 2). *When galaxy clusters collide : the impact of merger shocks on cluster gas and galaxy evolution*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/34937>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/34937>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/34937> holds various files of this Leiden University dissertation

**Author:** Stroe, Andra

**Title:** When galaxy clusters collide : the impact of merger shocks on cluster gas and galaxy evolution

**Issue Date:** 2015-09-02

---

# Samenvatting

---

Groepen sterrenstelsels, ook wel clusters genoemd, staan bovenaan de keten van structuren die zich vormen in het heelal. Deze clusters zijn de meest massieve structuren (met massa's van  $10^{14-15} M_{\odot}$ ), en bestaan uit grote aantallen sterrenstelsels in een relatief klein volume. In vergelijking met de vrij lege ruimte rondom, is een cluster vergelijkbaar met een grote stad, waar soms duizenden sterrenstelsels dicht op elkaar gepakt wonen. Echter, de meeste massa van een cluster zit tussen de sterrenstelsels, in de vorm van donkere materie, en heet gas, dat Röntgen-licht uitstraalt. Dit intra-cluster gas (*Intercluster Medium*, ICM) heeft een enorm effect op de evolutie van de sterrenstelsels in een cluster. Spiraalstelsels die veel sterren vormen, bevinden zich normaal gesproken in de dunbevolkte ruimte tussen clusters. Als een spiraalstelsel door zwaartekracht door een cluster wordt aangetrokken en erin valt, wordt het door de interactie met het ICM ontdaan van het gas dat nodig is voor het vormen van sterren. De structuur van het spiraalstelsel verandert dan drastisch, en het wordt een rood, dood, passief en elliptisch stelsel.

Grote clusters ontstaan uit het samensmelten van meerdere kleinere clusters. Bij dit proces komt enorm veel energie vrij, veel meer dan geproduceerd wordt door andere energetische processen in het heelal. Gedurende miljarden jaren nemen clusters in massa toe en vormen ze nieuwe structuren, net als steden die omliggende dorpen opslokken. Een deel van de energie die bij het samensmelten vrijkomt, veroorzaakt gigantische schokgolven die zich door het ICM voortplanten. Deze schokgolven kunnen electronen in het hete gas versnellen tot relativistische snelheden. Zo vormen clusters de grootste deeltjesversnellers in het heelal, 19 ordes van grootte groter dan de 'Large Hadron Collider'. De versnelde electronen draaien om de magnetische veldlijnen, en produceren hierdoor synchrotron-straling over enorm grote gebieden. Deze vorm van licht kan met radiotelescopen worden opgevangen. Deze gigantische, Mega-parsec grote, diffuse radiobronnen, noemen we 'radio relics'.

Schokgolven zijn van invloed op de manier waarop clusters zich vormen. Het bestuderen van clusters met diffuse radiostraling kan helpen bij het ontrafelen van de fysica van deeltjesversnelling dat plaatsvindt over grote afstanden, bij zwakke schokken, zwakke magneetvelden, en lage dichtheden. Dit zijn omstandigheden die noch in andere astronomische objecten, noch op Aarde, kunnen worden gereproduceerd. In het afgelopen decennium is er grote vooruitgang geboekt in ons begrip van samensmeltende clusters, maar door het gebrek aan geschikte radiotelescopen die 'radio relics' kunnen vinden, bouwt het onderzoek nog steeds voort op de studie van enkele, relatief nabije bronnen, en met waarnemingen op hooguit een paar frequenties. Met enkel radio en Röntgen studies van clusters, blijft het moeilijk om de eigenschappen en evolutie van sterrenstelsels die wel sterren vormen, te bestuderen. Er zijn een aantal onbeantwoorde vragen:

**De oorsprong en fysische eigenschappen van diffuse radio straling in clusters:** "waar komen de electronen vandaan, en hoe worden ze versneld? Hoe werkt de interactie met het magneetveld waardoor ze hun energie verliezen?"

**Evolutie van sterrenstelsels in samensmeltende clusters met schokgolven:** "wat is de invloed op de sterrenstelsels van het samensmelten van de clusters en de schokgolven?"

## Dit proefschrift

Het onderzoek dat ik presenteer in mijn proefschrift combineert breedbandige radio waarnemingen, optische beelden, optische spectra en het modelleren van de spectrale energieverdeling. Daarmee bestudeer ik samensmeltende clusters die een radio relic huisvesten. Dit proefschrift richt zich op twee zware clusters, met als bijnamen de 'Sausage' (Worst), en 'Toothbrush' (Tandenborstel), die beide spectaculaire, dubbele relics bevatten, met een duidelijke structuur. Beide clusters lijken relatief eenvoudige geschiedenis te hebben: ze zijn het gevolg van het samensmelten van twee clusters met gelijke massa. Mijn onderzoek wil een zo compleet mogelijk beeld opbouwen van deze twee clusters, en richt zich daarbij op twee aspecten. Het eerste is de manier waarop schokgolven de electronen en het magneetveld beïnvloeden om diffuse radio straling te produceren. Het tweede aspect is hoe het samensmelten van zulke grote, massieve clusters de stervorming in de sterrenstelsels beïnvloedt. In het laatste deel van mijn proefschrift zal ik de eigenschappen van stervorming in clusters in een bredere context plaatsen, door het vergelijken van grote aantallen sterrenstelsels in zowel dicht- als dunbevolkte gebieden aan de hemel.

In **hoofdstuk 2** bespreek ik de invloed van de ontstaans-geschiedenis van clusters op de radio stelsels in het cluster, en op het versnellen van de electronen die diffuse radio straling produceren. De analyse is gebaseerd op een grote hoeveelheid radio waarnemingen van de 'Sausage' cluster, gedaan met de 'Giant Metrewave Radio Telescope' in India, en de Westerbork Synthesis Radio Telescope. Door het bestuderen van de kromming van het spectrum en de 'kleur' van de radio straling, bevestigen wij dat de twee symmetrische radio relics waarschijnlijk zijn ontstaan door symmetrische schokgolven. Dit soort schokgolven ontstaat op het moment dat de centra van de twee samensmeltende clusters elkaar passeren. De analyse geeft aan dat de electronen door de schokgolf worden versneld.

**Hoofdstuk 3** vergelijkt de eigenschappen van de schokken zoals afgeleid uit radio en Röntgen waarnemingen van radio relics. We hebben voor het eerst het effect van ruimtelijke resolutie op het radiospectrum van de 'Sausage' cluster in de analyse meegenomen. Als we dat doen, zijn de Mach-nummers afgeleid uit de radio en de Röntgen waarnemingen met elkaar in overeenstemming. Eerdere analyses vonden dat de Mach-nummers niet met elkaar in overeenstemming waren. We vinden verder een toename in de leeftijd van de radio straling vanaf de noordkant van de schok in de stroomafwaartse richting. Hieruit leiden we af dat de schokgolf in noordelijke richting beweegt, met een snelheid van ongeveer  $2500 \text{ km s}^{-1}$ . We laten zien dat er nog meer belangrijke effecten zijn (opnieuw versnellen van electronen door turbulentie en het mengen van electronen in de gezichtslijn), die tot nu toe niet zijn meegenomen in modellen voor het ontstaan van radio relics.

In **hoofdstukken 4 en 5** presenteer ik metingen van de diffuse radio straling op de hoogste frequentie ooit, namelijk 16 en 30 GHz. Deze waarnemingen zijn gedaan met de 'Arcminute Microkelvin Imager', en de 'Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy'. Ze zijn essentieel om vast te stellen hoe electronen en het magnetisch veld elkaar beïnvloeden, en om onderscheid te maken tussen verschillende modellen voor de oorsprong van deze electronen. Onze waarnemingen laten zien dat het radio spectrum steiler wordt, zowel in de 'Sausage' als in de 'Toothbrush'. Dit vormt een uitdaging voor de huidige modellen voor het ontstaan van radio relics. Volgens onze analyse zijn complexere modellen nodig, waarin de electronen verantwoordelijk voor de diffuse radio straling al een keer eerder zijn versneld,

bijvoorbeeld in radio stelsels die in het verleden actief waren in het cluster.

In **hoofdstukken 6, 7, en 8** beschrijf ik waarnemingen in het zichtbaar licht, specifiek op de frequentie van de  $H\alpha$  lijn. Voor beide clusters is de emissie van deze lijn volledig in kaart gebracht. In de ‘Sausage’ cluster vinden we in de nabijheid van de relics meerdere sterrenstelsels die veel  $H\alpha$  uitstralen, wat aangeeft dat ze actief nieuwe sterren vormen. In de ‘Toothbrush’ zien we dit soort sterrenstelsels niet. We verklaren dit door de verschillende fases waarin de samensmeltende clusters zich bevinden. Simulaties laten zien dat de ‘Toothbrush’ al een miljard jaar ouder is dan de ‘Sausage’. Mogelijk ontstaat door de schokgolf een korte, heftige fase van stervorming in de nabije sterrenstelsels, waardoor de transformatie van spiraalstelsels in elliptische stelsels wordt versneld.

Voor **hoofdstuk 9** hebben we WSRT waarnemingen gebruikt van het neutrale waterstofgas in de ‘Sausage’ cluster. Hiermee bestuderen we het effect dat het samensmelten en de schokgolven hebben op het koele gas dat de brandstof vormt voor stervorming in de sterrenstelsels. Eerder onderzoek liet zien dat stelsels minder koel gas bevatten naarmate ze zich dichterbij het centrum van een cluster bevinden. Wij vinden echter dat actief stervormende sterrenstelsels in de ‘Sausage’ cluster net zoveel koel gas bevatten als actief stervormende sterrenstelsels buiten de clusters. We vinden aanwijzingen voor radiolicht van krachtige supernova restanten, hetgeen betekent dat de stelsels al minstens 100 miljoen jaar sterren aan het vormen zijn.

In **hoofdstuk 10** voeren we een studie uit van een grote groep stervormende sterrenstelsels op een roodverschuiving van  $\sim 0.2$ . We reconstrueren hoeveel sterrenstelsels er zijn met een bepaalde lichtsterkte van de  $H\alpha$  lijn. We vinden zo de helderste, en meest zeldzame sterrenstelsels. Zeer lichtsterke, stervormende stelsels zijn meer gegroepeerd dan stelsels die maar mondjesmaat sterren vormen. Verder kunnen we vaststellen dat clusters met dichtheden zoals de ‘Sausage’ extreem zeldzaam zijn.

