



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Structure and substructure in the stellar halo of the Milky Way

Pila Diez, B.

### Citation

Pila Diez, B. (2015, June 16). *Structure and substructure in the stellar halo of the Milky Way*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/33295>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/33295>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/33295> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Pila Díez, Berenice

**Title:** Structure and substructure in the stellar halo of the Milky Way

**Issue Date:** 2015-06-16

# Samenvatting

## De rol van galactisch kannibalisme in het heelal

Sterrenstelsels zijn systemen die bestaan uit sterren, planeten, stof, gas, ijsmoleculen en donkere materie. Ze worden gekarakteriseerd door de emissie van licht in een groot golflengtebereik waardoor wij de nucleaire (kern-) en chemische reacties kunnen bestuderen die de drijfveer zijn van de verschillende processen. De kernreacties vinden plaats in sterren terwijl de meeste chemische reacties zich afspelen in het zogenaamde interstellair medium (gas wolken en stofdeeltjes) of in planeten en circumstellair wolken. Sterrenstelsels worden geregeerd door de wetten van de zwaartekracht die alle elementen bij elkaar houden en de grondslag leggen voor de algehele structuur en evolutie.

De eerste sterrenstelsels zijn ontstaan uit hele kleine kiemen met bijzonder hoge dichtheid die zich bevinden in het hele Universum, als gevolg van de groei van donkere materie, gaswolken, en later de geboorte van sterren onder invloed van de zwaartekracht. Deze regio's met hoge dichtheid waren het resultaat van de kwantum fluctuaties die aanwezig waren na de Big Bang en zijn versterkt tijdens de zogenaamde Inflatie periode. Echter, de grootte van (en het aantal) sterrenstelsel dat vandaag de dag wordt waargenomen kan niet volledig worden uitgelegd door alleen gravitationele groei in acht te nemen gedurende de hele geschiedenis van het Universum. Het kan wel worden verklaard door een proces dat galactisch kannibalisme heet. In dit proces  *eet de grotere vissen de kleinere*, wat zoveel inhoudt als dat het grootste (meest massieve) sterrenstelsel de kleinere (minder massieve) sterrenstelsels dichterbij doet komen, doet opsplitsen en het vrijgekomen materiaal in zich opnemen. Het grootste sterrenstelsel oefent in feite de eigen zwaartekracht uit wat leidt tot de vernietiging van het kleinere sterrenstelsel. Wanneer beide sterrenstelsel ongeveer een gelijke massa en grootte hebben noemen we dit proces  *grote samensmelting* en als ze verschillende massa's hebben wordt het galactisch kannibalisme of  *kleine samensmelting* genoemd. Beide processen kunnen niet alleen de grootte en het aantal sterrenstelsels verklaren, maar ook hun geschiedenis en morfologie.

Maar galactisch kannibalisme is niet alleen een theoretisch concept aangezien sterrenstelselsamensmeltingen van verschillende groottes nu zijn waargenomen in een groot aantal sterrenstelsels. De zwaartekracht zorgt ervoor dat, mits er genoeg

tijd is (de leeftijd van het Universum is 13,800 miljoen jaar!), veel sterrenstelsels telkens dichtbij genoeg komen om te kunnen samensmelten ondanks de grote afstanden tussen de verschillende stelsels.

In de context van het huidige kosmologische kader – het  $\Lambda$  Koude Donkere Materie model, dat de dynamiek en evolutie van het Universum probeert te verklaren – is galactisch kannibalisme een belangrijke drijfveer in de evolutie van sterrenstelsels en naar deze twee modellen samen wordt vaak verwezen als het Hiërarchische Vormings scenario. Deze theorie is succesvol gebleken in het uitleggen van de evolutie van het Universum zowel op kosmologische als galactische lengte schalen.

## Het *levende* en *fossiele* archief van sterrenstelsels

Aangezien het proces van galactisch cannibalisme al sinds het begin van het Heelal gaande is, is het logisch om niet alleen naar huidige voorbeelden te zoeken, maar ook naar sporen van vroegere gebeurtenissen.

Huidige of recente episodes van galactisch kannibalisme kunnen herkend worden aan het sterrenpuin en het overblijfsel van het melkwegstelsel dat uit elkaar gerukt wordt. Omdat het een langzaam proces is, kan het satellietsterrenstelsel vaak een aantal keer om het grotere stelsel heen draaien voordat het volledig vernietigd is. Terwijl het satellietstelsel geleidelijk gas en sterren verliest, blijven deze bestanddelen een baan volgen die dicht bij de oorspronkelijke baan ligt maar worden ze uitgespreid zodat ze een stroom of schil vormen, afhankelijk van de ellipticiteit en energie van de baan (zie Figuur 1.2 voor een voorbeeld).

Oude episodes zijn moeilijker te identificeren omdat het sterrenpuin de oorspronkelijke baan niet meer volgt, maar vermengd is met de sterren van het grotere stelsel. Desondanks kan informatie over chemische samenstelling en kinematica gebruikt worden om groepen sterren met een gezamenlijke oorsprong te vinden, mits hun gezamenlijke eigenschappen afwijken van de rest van de populatie.

Bolhopen, kleine ronde groepen sterren die geboren worden uit dezelfde gaswolk in de buitendelen van sterrenstelsels, kunnen ook door getijden uit elkaar getrokken en door hun sterrenstelsel gekannibaliseerd worden.

Ons sterrenstelsel, de Melkweg, is geen uitzondering wat betreft galactisch cannibalisme en hiërarchische groei. Huidig onderzoek suggereert dat de Melkweg de afgelopen 10,000 miljoen jaar geen grote "merger" (een samensmelting tussen twee sterrenstelsels met vergelijkbare massa) heeft ondergaan, maar verschillende kleine samensmeltingen. Bovendien is het op dit moment verschillende satellietstelsels en bolhopen aan het kannibaliseren. Dit maakt de buitendelen van het Melkwegstelsel (het gebied ver van de schijf, de halo) een zeer interessant gebied.

## Dit proefschrift

Dit proefschrift gaat over het bestuderen van de buitendelen van de Melkweg, met twee doelen: het bepalen van de onderliggende sterverdeling van de halo, en het identificeren en karakteriseren van nieuwe satellieten en van nieuwe sterstromen

als gevolg van kannibalisatie.

Het eerste doel staat beschreven in hoofdstukken 2 en 3. Dit werk is gebaseerd op waarnemingen gedaan met de Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) in Hawaïi, de Isaac Newton Telescope (INT) in de Canarische eilanden en de VLT Survey Telescope (VST) in Chili. De halo van spiraalstelsels is een ijle, ellipsoidale verdeling van sterren die de schijf en centrale bulge omgeeft. Halo sterren zijn zeldzaam en staan ver weg, wat het moeilijk maakt om ze in statistisch interessante aantallen waar te nemen. Daardoor is het niet eenvoudig om de algemene structuur van de halo, zoals de vorm of het verloop van de dichtheid met afstand tot het centrum van de Melkweg, te bepalen. Met gevoelige breedbeeld camera's op de bovengenoemde telescopen (resp. MegaCam, WFC en OmegaCAM) hebben we halo sterren tot op grote afstand kunnen identificeren. Op basis van deze data hebben we kunnen aantonen dat de sterdichtheid afneemt met straal als een gebroken machtswet, en hebben we de vorm van de halo kunnen bepalen. De halo heeft een afgeplatte vorm (zoals een mandarijn of een walnoot, niet zoals een rechtopstaand ei), maar is vanaf de poolas bekeken praktisch rond.

Hoofdstukken 4 tot 6 gaan over het tweede doel. Eén van de belangrijkste uitkomsten van dit proefschrift is een cross-correlatie algoritme waarmee sterconcentraties kunnen worden gezocht in een twee-kleuren kaart bestaande uit vele kleine losse velden. Hiermee kunnen sterstromen, bolhopen of satellietstelseltjes geïdentificeerd worden. Met deze techniek is het mogelijk om twee-kleuren data te gebruiken waar voorheen minstens drie kleuren (fotometrische banden) nodig waren, wat een flinke besparing van waarneemtijd kan opleveren. Ook zijn nabije controle velden niet meer nodig. Het blijft wel zo dat een volledige meerkleuren kaart meer informatie bevat, maar deze techniek maakt het wel mogelijk om diepe archiefdata in te zetten voor dit soort analyse.

Met deze methode hebben we sterconcentraties gevonden die deel uitmaken van drie verschillende sterstromen (de Sagittarius, Orphan en Palomar-5 stromen), en nauwkeurige fotometrische afstanden tot deze sterren bepaald door gebruik te maken van bestaande metingen van de leeftijd en metalliciteit van deze populaties. In het bijzonder hebben we voor enkele delen van de Sagittarius stroom voor het eerst afstanden bepaald, en twee sterconcentraties geïdentificeerd die tentatief overeenkomen met de voorspelde positie van een nabije tweede staart van deze stroom.

We hebben ons algoritme ook gebruikt om dichtheidsconcentraties te zoeken in de buurt van bolhopen in de Melkweg. Als een bolhoop geassocieerd is met een belangrijke sterstroom dan kan dat er op wijzen dat deze sterhoop deel uitmaakte van de satelliet waaruit de stroom is ontstaan. Een kleine extra sterconcentratie nabij een bolhoop suggereert juist dat de bolhoop zelf aan het oplossen is, of wordt uiteengetrokken door de Melkweg. In totaal hebben we 23 bolhopen bestudeerd, en in 8 gevallen duidelijke sterconcentraties gevonden (met mogelijke detecties in nog 5). Aan de hand van schattingen van de afstanden tot die sterren, en enkele kinematische indicatoren, hebben we per geval bekeken of het om een bekende sterstroom ging, of om materiaal dat geassocieerd kon worden met de bolhoop.

In de meeste gevallen was er niet zo'n verband.

Tot slot hebben we de traditionele stertelling techniek toegepast op de eerste grote kaarten van het KiDS project op de VST, om te zoeken naar nieuwe stromen en satellieten. De verwachte structuren (zoals de Sagittarius stroom, de 'Virgo Overdensity' en de 'Eastern Band Structure') hebben we inderdaad teruggevonden, net als de 'dikke schijf' van de Melkweg en het einde van de Palomar-5 stroom. Met de huidige staat van de data hebben we echter geen nieuwe structuren kunnen ontdekken: de 140 vierkante graden KiDS data die we hebben geanalyseerd (10% van wat de uiteindelijke totale kaart moet worden), hoewel dieper dan eerdere data, beslaan slechts  $\sim 30$  vierkante graden die niet eerder in kaart zijn gebracht, en zijn nog gefragmenteerd. Hier zal echter snel verandering in komen: er komen continu meer KiDS data binnen, op gebieden die nog niet eerder zijn waargenomen, wat de kans biedt op nieuwe ontdekkingen in de halo van de Melkweg.