



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Stellar radio beacons for Galactic astrometry

Quiroga Nunez, L.H.

Citation

Quiroga Nunez, L. H. (2020, March 12). *Stellar radio beacons for Galactic astrometry*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/86289>

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/1887/86289>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/86289> holds various files of this Leiden University dissertation.

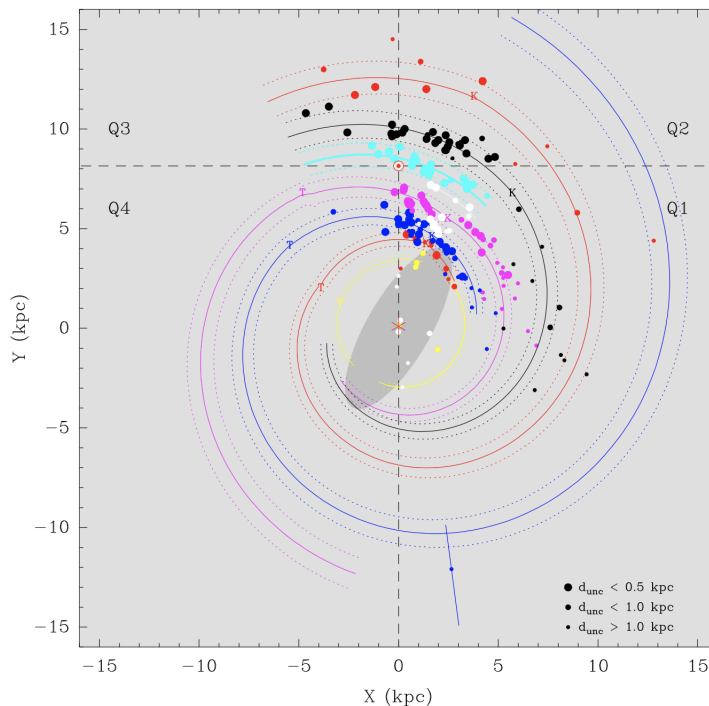
Author: Quiroga Nuñez, L.H.

Title: Stellar radio beacons for Galactic astrometry

Issue Date: 2020-03-12

Nederlandse Samenvatting

Honderd jaar geleden was de kennis van ons sterrenstelsel, de Melkweg, nog zeer basaal. Het was onduidelijk of de sterren aan de hemel deel uitmaakten van één van vele groepen in het universum, of dat de sterren alom verspreid waren. Hierover vond destijds een debat plaats tussen twee gerenommeerde Amerikaanse astronomen die op basis van de beschikbare waarnemingen verschillende hypothesen voorstelden. Enerzijds stelde Harlow Shapley voor dat we in een eiland-universum leven en dat andere eiland-universums niet konden worden ontdekt omdat ze zo ver weg waren. Aan de andere kant verdedigde Heber Curtis dat we in een klein sterrenstelsel leven en dat andere sterrenstelsels niet konden worden waargenomen door de verduistering in het galactische vlak. Als men hierop terugkijkt, vindt men dat aan de basis van deze tweedracht een gebrek ligt aan nauwkeurige metingen van de afstand tot andere sterren. Omdat een betrouwbare verdeling van de sterren rond de zon niet beschikbaar was, was het onmogelijk om te bepalen welke objecten aan de hemel op veel grotere afstand staan dan de omringende objecten.



Figuur A1: *Overzicht van de Melkweg met de posities van gebieden waar massieve sterren vormen zoals gemeten in het kader van het BeSSeL project, waarbij de afstandonzekerheid wordt gegeven door de symboolgrootte. En daarbij weergegeven de afgeleide posities van de spiraalarmen (Reid et al. 2019). In deze voorstelling staat de zon op positie (0,8.15) kpc van het melkwegcentrum en roteert de melkweg met de klok mee.*

In de loop van de tijd kwamen er steeds nieuwe technologieën die ons in staat stelden om meer nauwkeurige schattingen van afstanden en eigenbewegingen te maken en te ontdekken dat de eiland-universums, of sterrenstelsels, extragalactische objecten zijn die ten opzichte van ons bewegen. Bovendien bleek dat ons sterrenstelsel een specifieke vorm heeft waarbij de sterren zich bevinden in een draaiende schijf met een specifieke morfologie, met prominente spiraalarmen en een centrale galactische balk (Fig. A1 and A2).

Tijdens de totstandkoming van dit proefschrift leverde de *Gaia*-ruimtemissie nauwkeurige astrometrische metingen aan voor meer dan een miljard sterren in de Melkweg. Maar de grote hoeveelheid stof die het visuele licht absorbeert en verstrooit, met name in het galactische vlak, is een beperking voor de door *Gaia* aangeleverde gegevens. Radio straling, daarentegen, wordt niet gehinderd door stof en kan dus gemakkelijk het galactische vlak doordringen en zo gebruikt worden voor aanvullende metingen (Fig. A3). Recente campagnes in het radio regime (bijvoorbeeld BeSSeL ⁵ en BAaDE ⁶) hebben posities en bewegingen van heldere stellaire bronnen (bekend als masers ⁷) gemeten in het galactisch vlak, door gebruik te maken van een techniek die Very Long Baseline Interferometry (VLBI) genoemd wordt. Met deze techniek wordt een stellaire bron waargenomen met verschillende radio antennes die ver uit elkaar staan, zelfs op verschillende continenten. De gemeten signalen worden gecombineerd tot een zeer gedetailleerde kaart van de radio bron. Door het bestuderen van de posities en snelheden van de sterren in het galactische vlak met VLBI is de structuur van de Melkweg in kaart gebracht (Fig. A1 en A2).

Dit proefschrift toont aan hoe robuuste, astrometrische metingen op de radio golflengten zijn te verwezenlijken voor jonge massieve sterren in de Melkweg. De resultaten worden vergeleken met simulaties voor stukken van de Melkweg die nog niet zijn waargenomen, met als doel de toepasbaarheid van deze techniek te testen. Bovendien worden optisch en radio gegevens gecombineerd voor geëvolueerde sterren in de buurt van de zon, hetgeen gebruikt wordt om deze specifieke sterren te karakteriseren met behulp van aanvullende informatie uit het infrarood. Ten slotte werd er een studie gedaan aan een speciale dubbelster, waarbij werd aangetoond dat nieuwe astrofysische informatie kan worden verkregen door nauwkeurige astrometrische metingen op verschillende momenten en verschillende frequenties te vergelijken.

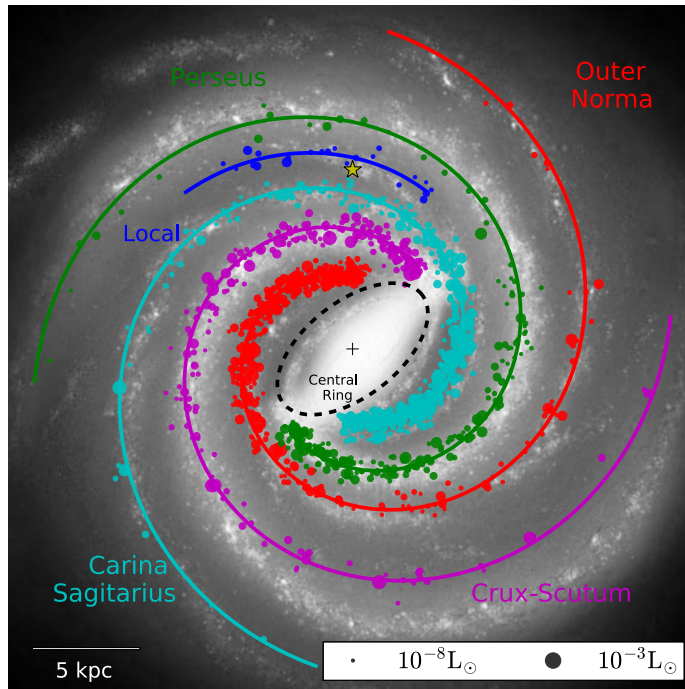
Het doel van dit proefschrift is om aan te tonen hoe de precieze astrometrische metingen van stellaire radiobakens kunnen worden gebruikt om cruciale informatie te verkrijgen over de eigenschappen van verschillende stellaire systemen. Ook kunnen belangrijke galactische structuren en parameters bepaald worden. Hierbij is gebruik gemaakt van astrometrische en fotometrische waarnemingen op verschillende golflengtes, geavanceerde Monte Carlo-simulaties en theoretische modellen. Dit proefschrift probeert de volgende vier vragen te beantwoorden:

- **Hoofdstuk 2:** Hoe kunnen VLBI-astrometrische metingen van de gebieden waar massieve sterren vormen worden gebruikt om de structuur van spiraalarmen te traceren?
- **Hoofdstuk 3:** Hoe nauwkeurig kunnen we de fundamentele galactische parameters schatten als onze waarnemingen beperkt zijn wat betreft de gevoeligheid en de locaties van de telescopen?
- **Hoofdstuk 4:** Hoe kunnen verschillende astrometrische datasets op verschillende golflengten gebruikt worden om oude stellaire populaties in de buurt van de zon te bestuderen?

⁵<http://bessel.vlbi-astrometry.org/>

⁶<http://www.phys.unm.edu/baade/>

⁷Straling doe van nature kan voorkomen in de ruimte rond speciale sterren en die volgens hetzelfde principe werkt als een lasers, maar dan op radio golflengtes.



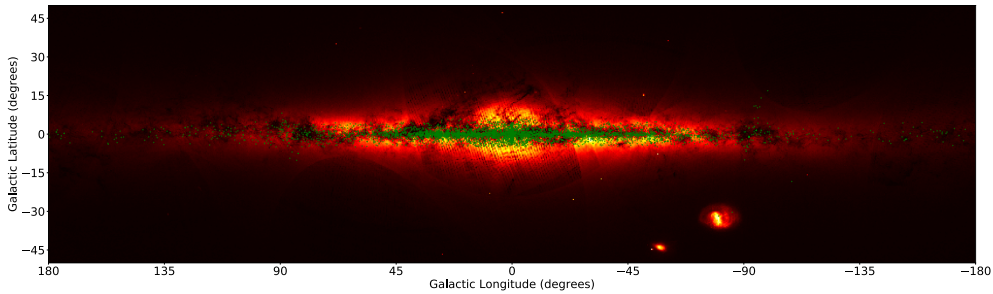
Figuur A2: *Galactisch vlak: een gesimuleerde distributie van de locaties van massieve sterren, geprojecteerd op een grafiek van de Melkweg (R. Hurt: NASA/JPLCaltech/SSC). De grootte van de symbolen geeft de helderheid van elke bron weer.*

- **Hoofdstuk 5:** Hoe kunnen astrometrische metingen gebruikt worden om de variabele radio-emissie van een dubbelster te ontdekken en te bestuderen?

In de volgende paragrafen beschrijf ik de inhoud van elk wetenschappelijk hoofdstuk van dit proefschrift door te laten zien hoe de hierboven gestelde vragen worden beantwoord.

In hoofdstuk 2 wordt onderzoek gepresenteerd aan een gebied met massieve stervorming in de buitenste spiraalarm van de Melkweg: Sharpless 269 (S269). Met behulp van 16 waarnemingen met de Very Large Baseline Array (VLBA) in de Verenigde Staten, werd een nauwkeurige metingen gedaan van de afstand en eigenbewegingen van de water masers in S269. De verkregen astrometrische resultaten bevestigen dat de rotatiecurve op grote afstand van het centrum van de Melkweg vlak is. Gebruikmakend van de verkregen afstand, in combinatie met een galactische simulatie en waarnemingen van andere jonge massieve sterren in het buitengebied, was het mogelijk om het bestaan van een knik in de buitenste arm te aan te tonen. Bovendien werden drie sterren gevonden in de *Gaia* catalogus die waarschijnlijk lid zijn van dezelfde sterrengroep, gezien hun eigenbeweging, parallax en leeftijd (het zijn namelijk massieve, jonge sterren).

In hoofdstuk 3 wordt onderzoek gepresenteerd aan de populatie van jonge massieve sterren in de Melkweg, waarbij heel veel datasets worden gesimuleerd en vervolgens vergeleken met de waargenomen dataset van het BeSSEL-onderzoek. Hierbij kan geverifieerd worden dat de diverse structuur parameters van de Melkweg, die verkregen werden uit de BeSSEL waarnemingen, niet beïnvloed zijn door de gebruikte selectie van maser bronnen. Het blijkt zelfs dat de gepubliceerde foutschattingen van de meeste parameters aan de conservatieve



Figuur A3: De galactische verdeling van de radio sterren die worden gebruikt in het BAaDE-project, maar waarvoor geen *Gaia* tegenhanger bekend is (groene punten), geplote over de eerste hemelkaart van *Gaia*. Deze selectie correleert sterk met de gezichtslijnen waar in het optische regime veel stof het zicht belemmert. Credit: ESA / *Gaia* / DPAC.

kant zijn. We laten zien dat toekomstige waarnemingen met behulp van masers aan de het zuidelijke hemel de schattingen van deze parameters van de Melkweg zullen verbeteren.

In hoofdstuk 4 zijn de objecten van het BAaDE-project bestudeerd met gegevens uit catalogi waargenomen in verschillende golflengtegebieden, zoals het optisch, infrarood en radio. Door deze verzamelingen met elkaar te vergelijken kunnen we de BAaDE-bronnen selecteren rond de zon (2.060 sterren), waarbij voornamelijk geëvolueerde sterren werden gevonden. De absolute (bolometrische) magnitudes werden vergeleken met verzamelingen van geëvolueerde sterren uit de literatuur, waarbij een vervuiling werd aangetoond met lichtzwakke objecten, waarschijnlijk jonge sterren. Niettemin hebben we aangetoond dat de eigenschappen van sterren waarvoor SiO-masers worden gedetecteerd consistent zijn met wat we verwachten voor zuurstofrijke Mira-sterren met perioden tussen de 250 en 750 dagen.

In hoofdstuk 5 hebben we bij toeval de radio-emissie van de dubbelster Ross 867-8 herontdekt, toen we de astrometrie van archiefgegevens van de Giant Metrewave Radio Telescope in India inspecteerden. In dit dubbelster systeem hebben beide dwergsterren vergelijkbare kenmerken zoals het spectrale type, astrometrische parameters, leeftijd en emissie in het infrarood, optisch en röntgen gebied. Nadat we de archieven van verschillende radiotelescopen hebben bestudeerd, konden we bevestigen dat alleen Ross 867 erg helder is op radiogolflengten, terwijl Ross 868 onopgemerkt blijft, hoewel beide sterren waarschijnlijk even oud zijn. Omdat ze in een wijde omloopbaan om elkaar draaien, is dit dubbelstersysteem een laboratorium om de eigenschappen gerelateerd aan de activiteit in het radio van zulke dwergsterren te onderzoeken. Ten slotte wordt gespeculeerd dat het waargenomen verschil in activiteit in radiostraling tussen de twee sterren te wijten zou kunnen zijn aan verschillen in magnetische veldtopologieën of dat Ross 867 een intrinsiek andere dynamo heeft.