



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Surveying young stars with Gaia: Orion and the Solar neighbourhood

Zari, E.M.

Citation

Zari, E. M. (2019, October 22). *Surveying young stars with Gaia: Orion and the Solar neighbourhood*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/79821>

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/1887/79821>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/79821> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Zari, E.M.

Title: Surveying young stars with Gaia: Orion and the Solar neighbourhood

Issue Date: 2019-10-22

Nederlandse samenvatting

Orion de Jager is een bekend sterrenbeeld dat zichtbaar is in de winter van het noordelijk halfrond. Het complete gebied, welke getoond is in het grote paneel van Fig. 5.13, is een gebied waar extreem veel nieuwe sterren worden gevormd en wordt daarom intensief bestudeerd. Orion bevat veel jonge sterclusters van verschillende leeftijden. Het gedetailleerd bestuderen van de volgorde van ster formatie (de zogenoemde *ster formatie geschiedenis*) welke verantwoordelijk is voor de vorming of zulke aantallen sterpopulaties is een van de belangrijkste onderwerpen van dit proefschrift.

Bijna alle heldere blauwe sterren die zichtbaar zijn in Fig. 5.13 behoren tot het zogenoemde "Orion OB associatie". OB associaties waren voor het eerst geïdentificeerd als losse groepen van jonge, massieve sterren. Deze grote structuren, met fysieke afmetingen die overeenkomen met honderden parsecs⁴, zijn de laatste fase van het proces waarin massieve sterren worden gevormd. De huidige ster formatie in de Orion wolk (zie 5.13, onder) is gelinkt aan de eerdere generaties van massieve sterren in de aangrenzende groepen in de Orion associatie.

De formatie van enkele OB associaties is gerelateerd aan grotere schaal sterformatie gebeurtenissen, welke op schalen van honderden parsecs plaatsvinden. In de omgeving van de zon, binnen een straal van 500 parsec van de zon, worden tijdens zulke gebeurtenissen grote aantallen associaties gevormd, van welke historisch verwacht waren dat een ringachtige structuur werd gevormd, welke de *Gouden Riem* wordt genoemd. De associaties en clusters die samen de Gouden Riem vormen zijn heel jong in vergelijking met bijvoorbeeld de zon, die ongeveer 5 miljard jaar oud is, en zijn ongeveer ontstaan op het moment dat dinosaurussen uitstierven (ongeveer 66 miljoen jaar geleden). De *Homo habilis* en *Homo erectus* ontstonden rond 4,5 en 2 miljoen jaar geleden: dit is ongeveer de leeftijd van de jongste clusters in de Gouden Riem, zoals de Orion Wolk Cluster, zie het onderste paneel van Fig. 5.13.

Als deze eerste mensen naar de sterren zouden kijken tijdens een heldere nacht, zouden ze een andere hemel zien dan wat wij vandaag waarnemen. Sterren bewegen over de hemel. Ze draaien rond het centrum van ons sterrenstelsel, de Melkweg, volgens een vast patroon hoewel er ook lokale snelheidsverschillen zijn. De leden van OB associaties waren waarschijnlijk geboren uit dezelfde wolken van gas en stof, en delen daarom niet allen dezelfde rotatiesnelheid maar ook dezelfde lokale snelheid. Dit kenmerk is vaak gebruikt om leden van verschillende OB associaties te scheiden van andere sterren.

Een deel van de O en B type sterren beweegt met snelheden die hoger zijn dan men zou verwachten: deze worden *wegrensterren* genoemd. Wegrensterren krijgen hun snelheid niet mee tijdens hun geboorte, maar tijdens hun leven. Het ontstaan van zulke hoge snelheden valt uit te leggen volgens twee verschillende mechanismen. Het eerste mechanisme voorspelt dat een wegrenstel voorheen lid was van een binair sterstelsel, bestaande uit twee zware sterren. Als een van de sterren explodeert als een supernova, wordt de ander plotseling uit het systeem gegooid en met grote snelheid gelanceerd. Het tweede mechanisme voorspelt dat een wegrenster is gevormd is een

⁴1 parsec komt overeen met ongeveer 3×10^{16} m, of 3,28 lichtjaren

dichtbevolkte jonge stercluster, zoals de Orion Nevel Cluster. In zo een omgeving kunnen twee binaire stersystemen elkaar dichtbij passeren en elkaar uit balans brengen.

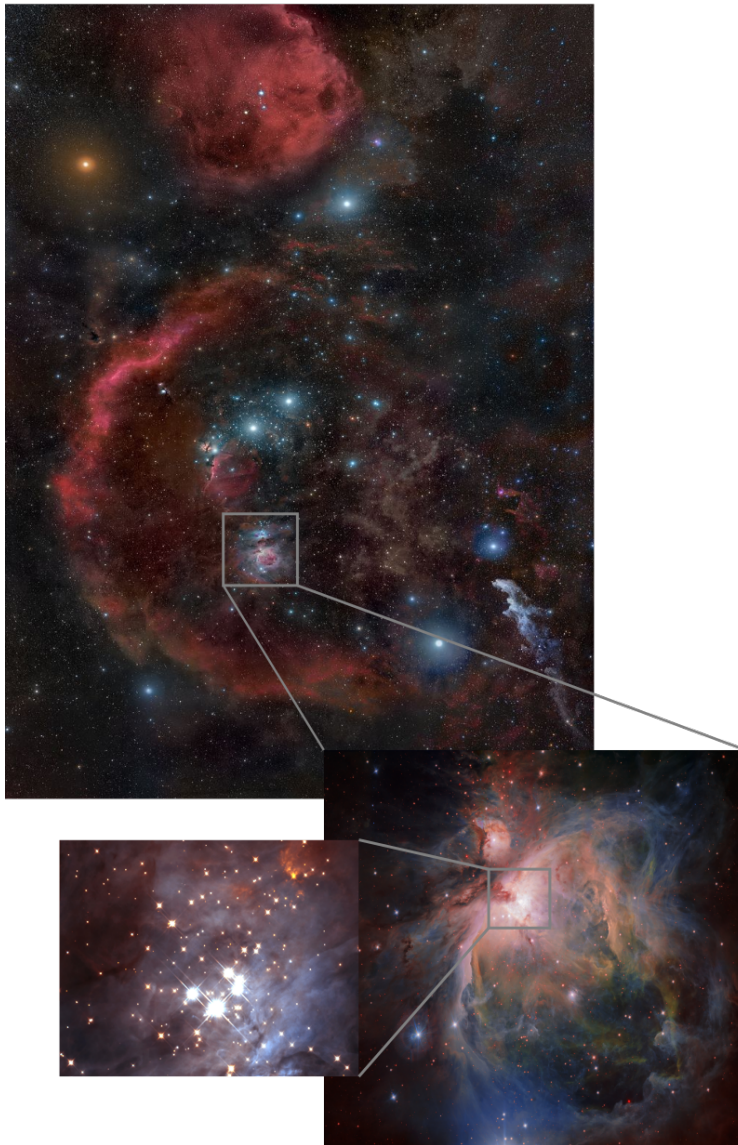
Gaia

Om de structuur en sterformatie geschiedenis van jonge associaties te begrijpen hebben we nauwkeurige informatie over de afstanden tussen sterren, hun bewegingen en leeftijden nodig. De data van de ESA *Gaia* ruimteschip is cruciaal hiervoor. Het hoofdoel van de *Gaia* missie is om de grootste en meest precieze driedimensionale plattegrond van ons sterrenstelsel te maken, door het meten van de posities en bewegingen van meer dan een miljard sterren in ons sterrenstelsel en daarbuiten. De positie van een ster op de hemel verandert met tijd doordat het zich relatief van de zon beweegt, en doordat de aarde rond de zon draait. De projectie van de beweging van een ster relatief tot de zon wordt de *eigenbeweging* genoemd. Dit is een hoeksnelheid (hoek per tijdseenheid). De overeenkomende snelheid is de *tangentile snelheid*. Wanneer de snelheid tot een object bekend is, kan met de hoeksnelheid de tangentile snelheid berekend worden. Wanneer de radiale snelheid ook gemeten is, kan de *totale snelheid* verkregen worden door het optellen van de tangentile en radiale snelheden. De zichtbare beweging van een ster door de rotatie van de aarde rond de zon wordt de *parallactische beweging* genoemd, and is gecorreleerd met de afstand tot de ster. Hoe kleiner de parallactische beweging is, hoe groter de afstand tot de ster is.

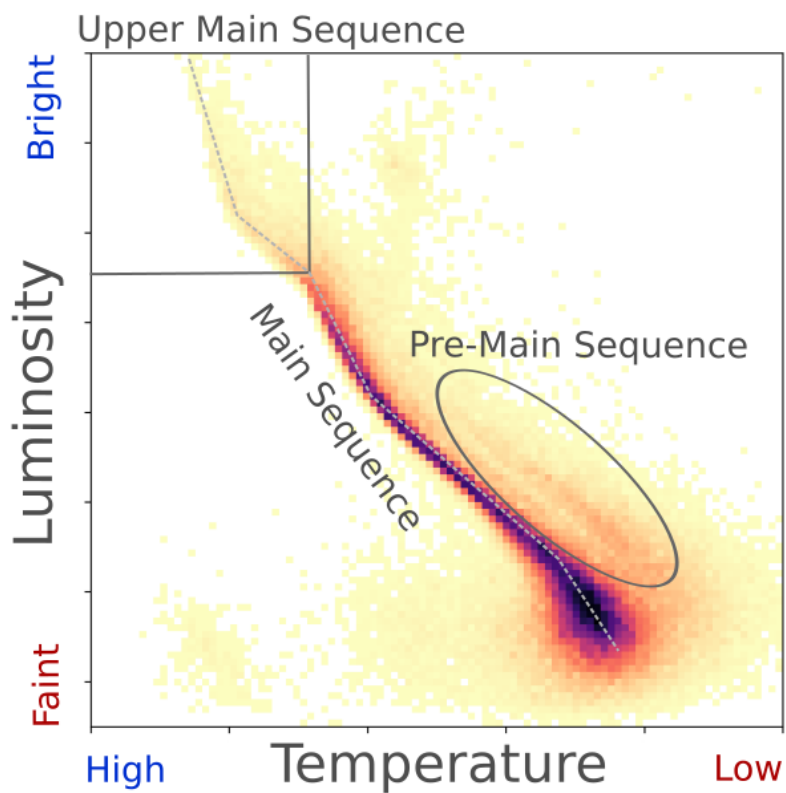
Gaia is niet de eerste missie met dit doel. In de jaren negentig produceerde de *Hipparcos* satelliet een catalogus van posities en bewegingen voor ongeveer honderd-duizend sterren, waardoor sterren in de dichtstbijzijnde OB associaties konden worden bestudeerd. Deze data was echter niet nauwkeurig genoeg om de driedimensionale structuur te verkrijgen van zelfs de dichtstbijzijnde associatie, Scorpius-Centaurus, of om Orion nauwkeurig in kaart te brengen. *Gaia* verbetert *Hipparcos* significant voor verschillende redenen. *Gaia* meet bijvoorbeeld de sterposities en bewegingen 200 keer nauwkeuriger dan *Hipparcos*. Ter vergelijking, *Gaia*'s precisie is zo hoog dat het de hoek kan meten die overeenkomt met de diameter van een munt op de maan, terwijl *Hipparcos* alleen de lengte van een astronaut kan meten.

Dit proefschrift

Dit proefschrift gebruikt de eerste *Gaia* data (*Gaia* DR1 and DR2) om een gedetailleerde telling van jonge sterpopulaties in de buurt van de zon te verkrijgen. Figuur 5.14 laat zien waar de zware sterren en pre hoofdreeks sterren zich bevinden in een *kleur-magnitude diagram* van de Orion regio. Een kleur-magnitude diagram is een manier om sterren te classificeren door middel van hun helderheid, temperatuur, massa en hun evolutionaire fase. Als een ster waterstof begint te verbranden verplaatst het zich naar de hoofdreeks (gestreepte lijn in Fig. 5.14). De positie van een ster op de hoofdreeks hangt van zijn massa af: de hoge hoofdreeks (grijze rechthoek links boven in het diagram) is waar massieve, vroegtype sterren zich bevinden. Net voordat sterren op de hoofdreeks uitkomen, zijn ze gelokaliseerd op de pre-hoofdreeks (grijze ellips): in deze fase trekken sterren zich samen waardoor hun temperatuur stijgt, maar waterstofverbranding is nog niet begonnen. Nieuwe sterren komen op de pre-hoofdreeks als zij bijna al hun massa hebben verkregen en hun envelop van gas en stof weg hebben geblazen. De pre-hoofdreeks fase duurt ongeveer een paar miljoen jaar tot tientallen



Figuur 5.13: Boven: sterren en gas in het Orion gebied. De heldere rode gebied is de Barnard's loop (Rogelio Bernal Andreo, *DeepSkyColors.com*). Rechts onder: de Orion Nevel, waar op dit moment nieuwe sterren worden gevormd (ESO/G. Beccari). Links onder: centrale gedeelte van de Orion Nevel Cluster (K.L. Luhman (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Mass.); and G. Schneider, E. Young, G. Rieke, A. Cotera, H. Chen, M. Rieke, R. Thompson (Steward Observatory, University of Arizona, Tucson, Ariz.) and NASA/ESA).



Figuur 5.14: Kleur-magnitude diagram van de sterren in de Orion regio. De gestreepte grijze lijn laat de hoofdreeks zien; het grijze rechthoek geeft een schatting van de grenzen van de hoge hoofdreeks; de grijze ellipse laat zien waar sterren voor de hoofdreeks zich bevinden.

miljoenen jaren afhangende van de ster massa: dit is erg kort vergeleken met de gemiddelde tijd dat een ster zich op de hoofdreeks bevindt.

Het doel van dit proefschrift is om de vorming en verspreiding van OB associaties te begrijpen, wat de eigenschappen van de sterpopulaties binnen een enkele associatie zijn, wat de eigenschappen van OB associaties samen zijn in termen van hun positie aan de hemel, en hoe dit zich vergelijkt met wat is waargenomen voor andere sterrenstelsels. Hiervoor bestuderen we de Orion OB associatie en andere gebieden waarin sterren worden gevormd in de buurt van de zon. De focus ligt op het beantwoorden van de volgende vragen:

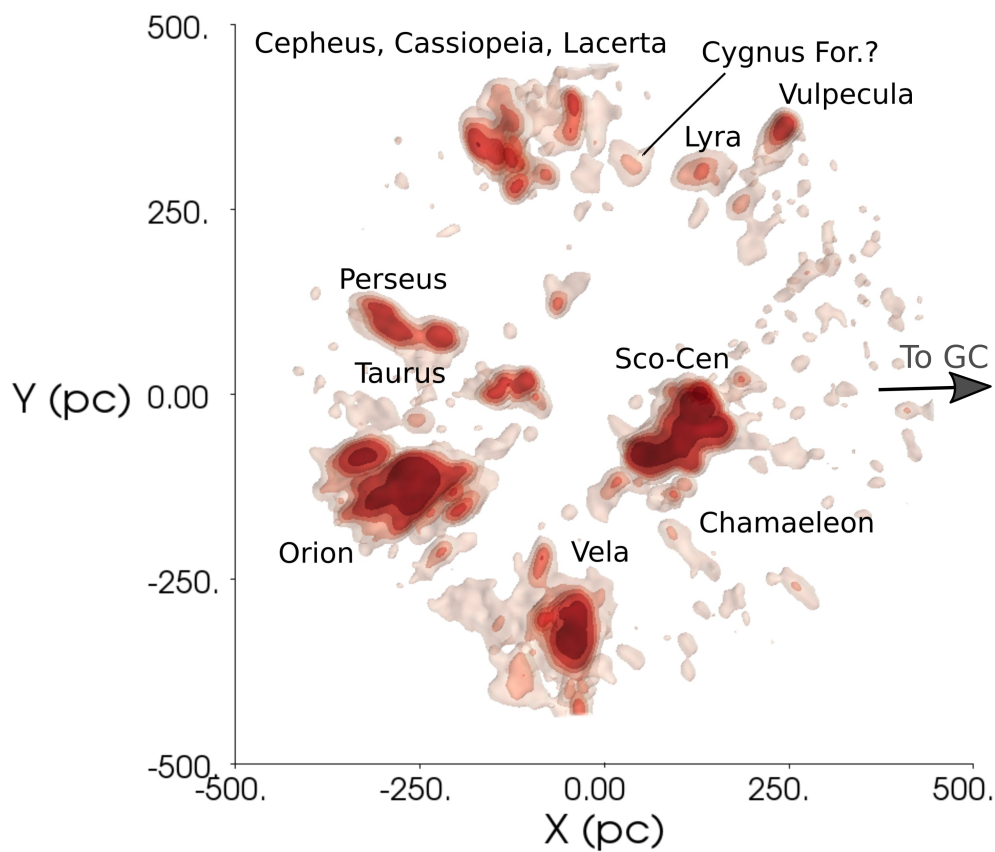
- Wat zijn de sterpopulaties in de Orion OB associatie?
- Wat is de stervormingsgeschiedenis van de Orion OB associatie?
- Wat is de structuur van de omgeving van de zon zoals waargenomen door jonge sterren?
- Hoe veel wegrensterren zijn er in de omgeving van de zon?

Het onderzoek dat gepresenteerd is in **Hoofdstuk 2** is de eerste stap tot het ontrafelen van de complexiteit van de stervormingsgeschiedenis van Orion, in termen van de verschillende sterformatie episodes, hun duur, en hun effect op de omliggende interstellaire medium. De Gaia DR1 data geeft het bewijs van de aanwezigheid van jonge sterpopulaties die zich bevinden rondom bekende clusters. De geschatte leeftijden van de leden van deze populatie suggereren de aanwezigheid van een leeftijdsvolgorde in de associatie.

Deze conclusies zijn deels herzien in **Hoofdstuk 3**. De hogere nauwkeurigheid van Gaia DR2 in vergelijking met Gaia DR1 and het hogere aantal sterren voor welke het mogelijk is de afstanden en snelheden te bepalen maakt het mogelijk om de driedimensionale configuratie van de stergroepen die samen de Orion OB associaties vormen en hun bewegingen en leeftijden te bestuderen. Het belangrijkste resultaat van dit hoofdstuk is dat de sterformatie processen in Orion een complexe geschiedenis volgen, welke veroorzaakt zijn door kinematische en fysische substructuren.

De focus van **Hoofdstuk 4** is de complete omgeving van de zon. Driedimensionale plattegronden van de verspreiding van pre-hoofdreeks sterren en hoge hoofdreeks sterren laten deze prominente structuren zijn, Scorpius-Centaurus, Orion, en Vela (zie Fig. 5.15). De distributie van de pre-hoofdreeks sterren als een functie van hun leeftijd laat zien dat jongere clusters in dichte, compacte hopen, and zijn omgeven door oudere bronnen, welke meer uitgespreid zijn. Deze plattegronden geven geen bewijs van het bestaan van de ring-achtige structuur welke normaal gesproken gerefereerd wordt als de Gouden Riem.

Hoofdstuk 5 presenteert een onderzoek naar wegrensterren in een straal van 1 kiloparsec van de zon. Kandidaat wegrensterren zijn geselecteerd uit hoge hoofdreekssterren, and zijn geselecteerd door hun tangentele snelheid, en, wanneer mogelijk, hun totale snelheid. Dit bevat sterren met een tangentele snelheid die significant afwijkt van de rest van de populatie of met totale snelheden hoger dan 30 km s^{-1} . De analyse is gefocust op wegrensterren in de Orion en Scorpius-Centaurus (Sco-Cen) gebieden. Zes nieuwe wegrensterren zijn toegevoegd aan de reeds bekende wegrensterren in Orion. In Sco-Cen zijn twee wegrensterren gedentificeerd die waarschijnlijk dezelfde oorsprong hebben.



Figuur 5.15: Dichtheidsdistributie van pre-hoofdreeks bronnen jonger dan 20 miljoen jaar. De zon is in het centrum, in $(X, Y) = (0, 0)$, de x-as is richting het centrum van de melkweg (deze richting is aangegeven door de pijl), en de y-as richting de galactische rotatie.

Conclusies

De belangrijkste conclusie van dit proefschrift is dat sterformatie processen op grote schaal, welke leiden tot de vorming van OB associaties, complex zijn en niet goed begrepen. Er is geen algemene theorie over stervorming dat alle substructuren (ruimte, kinematica, en leeftijden) kan verklaren in Orion en in andere OB association in de buurt van de zon. De oorsprong van OB associaties blijft mysterieus. De structuur van de omgeving van de zon is zeker anders dan wat gedacht was voor het Gaia tijdperk. Deze bevindingen vragen om een herziening van theorieën omtrent de propagatie en de totstandbrenging van sterformatie. Toekomstige nieuwe waarnemingen door de Gaia satelliet en van aankomende spectroscopie missies zullen bijdragen aan gedetailleerd verkennen van de kinematica en de fysische substructuren van grote stervorming complexen.

