



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Stellar collisions in young star clusters

Gaburov, E.

Publication date
2008

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Gaburov, E. (2008). *Stellar collisions in young star clusters*.
<http://www.science.uva.nl/research/scs/papers/archive/Gaburov2008c.pdf>

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Samenvatting

Het onderzoek in dit proefschrift concentreert zich op een systematisch onderzoek van sterbotsingen in jonge sterrenhopen. Zware sterren, die veel voorkomen in jonge sterrenhopen, hebben grote invloed op de dynamica van een sterrenhoop. Ter versimpeling verdelen wij de evolutie van een sterrenhoop in twee fasen: voordat de sterevolutie grote invloed op dynamica van een sterrenhoop uitgeoefend heeft, en de fase erna. De evolutie van individuele sterren heeft weinig effect op de dynamica van een sterrenhoop tijdens de eerste drie miljoen jaar sinds het ontstaan. Na die tijd heeft sterevolutie een aanzienlijk effect op de stellaire bewegingen, voornamelijk vanwege massa verlies in sterrenwinden en supernova explosies. In dit proefschrift concentreer ik mij voornamelijk op sterrenhopen die jonger zijn dan drie miljoen jaar, zoals de Arches sterrenhoop nabij het Galactische Centrum of R136 in de Grote Magelhaense Wolken.

Een belangrijk proces in de evolutie van jonge sterrenhopen is massa segregatie: sterren die zwaarder zijn dan de gemiddeld migreren naar de centrale regio (de kern) van een sterrenhoop. Als gevolg van de massa segregatie neemt het aantal zware sterren, en dus de gemiddelde stellaire massa toe in de kern en af in de buitenste regio's van de sterrenhoop. Dit proces duurt voort tot een zware dubbelster is gevormd in het centrum. De verdere evolutie van een sterrenhoop is vervolgens drastisch beïnvloedt door de aanwezigheid van deze zware dubbelster. Deze dubbelster voorkomt verdere toename van het aantal zware sterren in de kern. Zulke jonge sterrenhopen zijn massa gesegregeerd, en inderdaad is er bewijs vanuit de waarnemingen van massa segregatie in verschillende jonge sterrenhopen.

Het is van groot belang om te bepalen hoeveel massa segregatie bereikt kan worden door de dynamische evolutie van sterren. Dit kan vergeleken worden met waarnemingen om te achterhalen of de oorsprong van massa segregatie in jonge sterrenhopen danwel primordiaal, danwel het gevolg van dynamische evolutie is. Een interessant voorbeeld is de Arches sterrenhoop. Uit recente waarnemingen blijkt dat de massafunctie van de kern kan worden benaderd met een dubbele machtswet: de massafunctie boven ongeveer zes zonsmassa's, de zogenaamde pivot massa, is minder steil dan eronder. Een van de voorgestelde verklaringen is dat de Arches' kern massafunctie grote gelijkenis vertoont met een initiële cluster massafunctie (IMF), die ontwikkeld is tijdens de vorming van de sterrenhoop. Het blijft echter onduidelijk waarom andere jonge sterrenhopen niet over dergelijke eigenschappen in hun IMF beschikken.

In dit proefschrift hebben we vastgesteld dat Arches' kern massafunctie het natuurlijke resultaat is van de dynamische evolutie. We hebben tijd en radiale afhankelijkheid van een aanvankelijk gewone sterrenhoop met Salpeter IMF zonder massa segregatie bestudeerd. Hoewel de kern massafunctie in eerste instantie is beschreven door een enkele machtswet, wijkt het uiteindelijk af van de oorspronkelijke toestand en vormt het een kromming rondom de pivot massa. Wij vinden dat de gesimuleerde data het best geapproximeerd kan worden door een dubbele machtswet functie, in tegenstelling tot gebruik van een enkele machtswet. Bovendien voorspellen we, op basis van onze resultaten, dat de pivot massa gelijk is aan tweemaal de gemiddelde stermassa in de sterrenhoop. Het is van belang te benadrukken dat dit resultaat geen merkwaardige massafunctie vereist en in overeenstemming is met de veronderstelling dat de Arches zonder massa segregatie is ontstaan. Bovendien voorspelt dit model dat de gemiddelde massa van het Arches cluster ongeveer gelijk is aan drie zonsmassa's - een aantal dat in overeenstemming is met waarnemingen.

Een cluster dat niet-gesegregeerd is bij de geboorte neemt enige tijd om een toestand van massa segregatie te ontwikkelen. Deze tijdsduur is afhankelijk van zowel de massa en de grootte van de sterrenhoop: naarmate een sterrenhoop groter en minder zwaar is, kost het meer tijd om een toestand van massa segregatie te bereiken. Sterrenhopen onder een bepaalde leeftijd bereiken geen toestand van massa segregatie, tenzij deze hiermee geboren zijn. De mogelijkheid om massa segregatie te ontdekken in jonge sterrenhopen is een belangrijke stap in dit onderzoek. Waarnemingen op basis van individuele sterren kunnen niet worden gemaakt van sterrenhopen voorbij de Grote Magelhaense Wolken. Voor deze sterrenhopen moeten wij gebruik maken van geïntegreerde eigenschappen, zoals fotometrie of spectroscopie.

In principe kunnen geïntegreerde fotometrische eigenschappen informatie verschaffen over massa segregatie in jonge sterrenhopen. In massa gesegregeerde sterrenhopen zijn zware sterren, die als eerste de hoofdreeksfase verlaten, geconcentreerd in de centrale regio's van de sterrenhoop. Daarentegen blijven de minder zware sterren, die zich op grotere afstand bevinden, in de hoofdreeks tijdens hun evolutie. Sterren in de hoofdreeks hebben meer blauwe en groene straling dan na-hoofdreeksfase sterren, waarvan de spectra wordt gedomineerd door rode straling. Daarom is de grootte van de waargenomen kern van een massa gesegregeerde sterrenhoop, ouder dan drie miljoen jaar, afhankelijk van de kleur waarin het cluster is waargenomen: de kern zal een kleinere verschijning hebben in de rode kleur dan in de blauwe. Dit is bevestigd met waarnemingen in verschillende jonge sterrenhopen. Toch werd later duidelijk dat dit veroorzaakt wordt door andere effecten, zoals de differentiële extinctie of variaties in de puntverspreidingsfunctie. Na correctie voor deze effecten was de waargenomen kern even groot in alle kleuren. In dit proefschrift bevestigen we dat het grootste deel van het licht in alle kleuren uitgestraald is door sterren binnen een klein

massa-interval, namelijk bij het eind van de hoofdreeksfase massa. Hierdoor domineren sterren van soortgelijke massa's de geïntegreerde fotometrische eigenschappen voor alle kleuren en op alle leeftijden. Sterren met soortgelijke massa's hebben echter een overeenkomstige ruimtelijke distributie, waardoor er slechts kleine verschillen zijn in de waargenomen straling van de kern. In onze modellen, die door de Arches' massa-functie gemotiveerd zijn, zijn deze verschillen niet groter dan tien procent.

Massa segregatie in jonge sterrenhopen is een noodzakelijke voorwaarde voor sterbotsingen. Door de bundeling van zware sterren in een compacte regio zijn sterke interacties tussen verschillende sterren onvermijdelijk. Sommige van deze interacties zijn zo nabij dat sterren met elkaar kunnen botsen en zich kunnen samenvoegen. De weg naar de eerste sterbotsing is echter vrij gecompliceerd in jonge sterrenhopen. De naïeve veronderstelling dat twee afzonderlijke sterren uiteindelijk met elkaar zullen botsen, zoals dat gebeurt in bolvormige sterrenhopen, gaat niet op voor jonge sterrenhopen. De vorming van een zware dubbelster is namelijk aannemelijker dan een botsing tussen twee afzonderlijke sterren. Botsingen ontstaan vaak tussen een lid van een zware dubbelster, dynamisch gevormd of van primordiale herkomst, en een afzonderlijke ster.

Het resultaat van een botsing tussen een dubbelster en enkele sterren kan alleen worden onderzocht door middel van hydrodynamische simulaties. De exacte details van de interactie is afhankelijk van de geometrie van de systeem, zoals de oriëntatie van de dubbelster met betrekking tot de inkomende afzonderlijke ster, de snelheid en de massa's van beide sterren. Ondanks de complexe interacties tussen de drie sterren tijdens een botsing hebben we vastgesteld dat alledrie de sterren zich waarschijnlijk zullen samenvoegen. In eerste instantie voegt de indringende ster zich met een van de binaire leden. De resulterende hydrodynamische puinhoop oefent dan een slepende kracht uit op het resterende binaire systeem. Hierdoor neemt de binaire scheiding en excentriciteit af. Indien de binaire scheiding klein genoeg is, zal er uiteindelijk een instabiele stofuitwisseling plaats vinden, waardoor de dubbelster fuseert. In dit geval krijgt het resterende overblijfsel van sterbotsingen een impulssnelheid die wordt veroorzaakt door asymmetrisch massaverlies tijdens de binaire inwaartse spiraliserende. In sommige gevallen is deze snelheid zo groot dat het overblijfsel wordt uitgeworpen uit de kern van de sterrenhoop. Dit resultaat voorspelt dus een spannende mogelijkheid om overblijfselen van sterbotsingen waar te nemen in de buitenste regio's van een sterrenhoop. Kandidaat voor deze waarnemingen is mogelijk de Pistol ster, die op een parsec afstand ligt van de kern in de Quintuplet sterrenhoop.

Om de evolutie van de overblijfselen van botsingen te bestuderen, is het noodzakelijk om de structuur daarvan te begrijpen. Dit begrip kan worden verkregen door het uitvoeren van gedetailleerde 3D hydrodynamische simulaties met hoge resoluties. Dit is echter een computationeel intensieve procedure die alleen zou kunnen worden toegepast voor individu-

ele gevallen. Aangezien wij geïnteresseerd zijn om een groot aantal fusies te modelleren, bijvoorbeeld kettingbotsingen, is een snelle approximatieve modellering wenselijk. Uit onze resultaten blijkt dat de definitieve verdeling van een vloeistof in de overblijfselen van de botsingen wordt geregeld door een fysiek proces: het Archimedes principe. Als twee sterren van dezelfde leeftijd en met verschillende massa's botsen, bevindt de vloeistof afkomstig van de geconcentreerde ster met weinig massa zich in het centrum van het botsing overblijfsel, en wordt deze omringd door de vloeistof uit de minder geconcentreerde hoge massa ster. Desondanks wordt een deel van de vloeistof van de ene ster gemengd met de vloeistof van de andere ster.

In dit proefschrift hebben we een approximatieve methode ontwikkeld die snel de structuur van overblijfselen van een botsing tussen twee zware sterren genereert. In combinatie met sterevolutie technieken konden we een eerste studie maken van de evolutie van het eindproduct van een kettingbotsing, veroorzaakt door de fusie van een groot aantal sterren binnen een paar miljoen jaar. Dit proces kan plaatsvinden in jonge en geconcentreerde sterrenhopen. In simulaties van jonge sterrenhopen bereikt het eindproduct een massa van meer dan duizend zonsmassa's. Daarom wordt er verondersteld dat een dergelijk object een voorloper kan zijn van een middelzwaar zwart gat.

Deze simulaties negeren echter massa verlies tijdens botsingen en door evolutie van het eindproduct tijdens fusie gebeurtenissen. De eerste hypothese lijkt plausibel, aangezien het massaverlies in een botsing tussen twee hoofdreeks sterren een paar procenten bedraagt. Daarentegen is het massaverlies tussen gebeurtenissen, die worden veroorzaakt door sterke stellaire winden, van aanzienlijke invloed op de evolutie van het botsingsproduct. Het massaverlies tussen de gebeurtenissen is groot genoeg om de groei van het botsingsproduct aanzienlijk te vertragen. Bovendien wordt, ongeveer twee miljoen jaar na het begin van de botsingen, het eindproduct een Wolf-Rayet ster met zeer sterke sterrenwinden. Het gevolg is dat het grootste deel van de massatoename door samenvoeging in de laatste twee miljoen jaar verloren gaat in slechts een half miljoen jaar. In dit geval is het resultaat van een botsingsreeks een minder zwaar zwart gat van ongeveer tien zonsmassa.