



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Clues from stellar catastrophes

Rimoldi, A.J.

Citation

Rimoldi, A. J. (2016, March 29). *Clues from stellar catastrophes*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/38640>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/38640>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/38640> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Rimoldi, Alexander

Title: Clues from stellar catastrophes

Issue Date: 2016-03-29

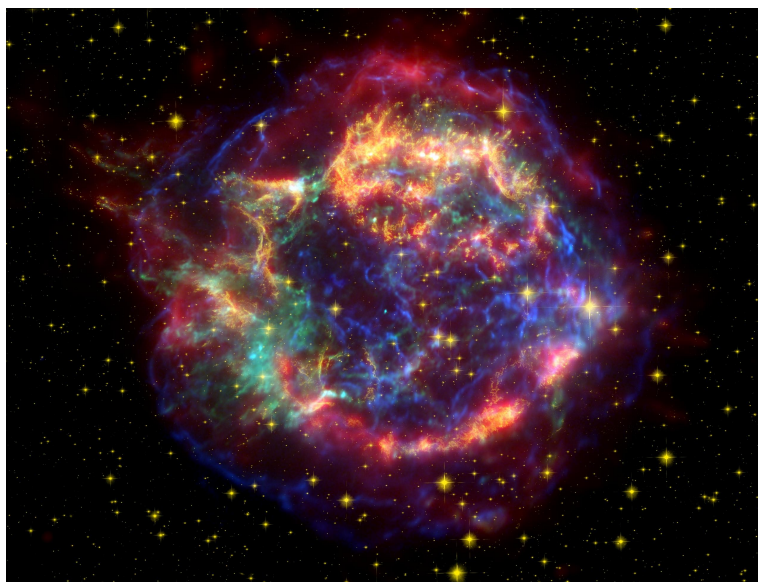
Nederlandse samenvatting

Stellaire catastrofes

Het leven van een ster, die velen malen zwaarder is dan de zon, zal op een spectaculaire manier eindigen. Als de nucleaire brandstof van de ster is uitgeput dan kan de kern van de ster zichzelf niet langer ondersteunen en zal ineenstorten tot een compact object—een neutronen ster of een zwart gat. Binnen enkele seconden na deze ineenstorting zullen vervolgens de buitenste lagen van de ster met veel geweld worden weggeblazen tijdens een (kern ineenstorting) *supernova* explosie.

Bij de supernova explosie komt er een enorme hoeveelheid energie vrij—ongeveer 100 keer meer dan wat de Zon gedurende zijn complete levenscyclus, van 10 miljard jaar, produceert. Bijna al deze energie wordt stilletjes weggevoerd door neutrino's, deeltjes die overvloedig tijdens de supernova worden geproduceerd maar die door hun zwakke interactie met andere materie bijna niet detecteerbaar zijn. Van alle energie wordt maar ongeveer 0.01% uitgestoten als licht, wat vervolgens zo opvallend de dood van de ster aangeeft. Ondanks dat licht maar zo'n klein deel van de totale supernova energie vormt, zal de lichtsterkte in de begin dagen van de supernova die van het gehele sterrenstelsel overtreffen. De overige energie, ongeveer 1% van de totale energie, zorgt voor de beweging van het gas dat, tijdens de explosie, wordt uitgestoten door de ster. Terwijl dit materiaal, de *supernova uitstoot*, uitdijt in het omliggende medium zal het meer gas in beweging zetten en zich uiteindelijk ontwikkelen tot een *supernovarest* (Figuur 5.10). In de meeste hoofdstukken van dit proefschrift zullen supernovaresten een rol spelen.

De meeste bekende supernovaresten breiden zich uit in het relatieve uniforme interstellaire medium dat zich tussen de sterren bevindt. Echter, in dit proefschrift doe ik onderzoek naar extremere situaties—namelijk de omgeving zoals die gevonden wordt in de centra van massieve sterrenstelsels. In het centrum van bijna alle grote sterrenstelsels bevindt zich minstens één zwart gat. Ook in het centrum van onze Melkweg bevindt zit zo'n zwart gat, deze heeft een massa van 4 miljoen keer de massa van de zon. Ondanks de grote massa, is het gebied waarin de zwaartekracht van dit zwarte gat dominant is maar ongeveer zo groot als een aantal keer de afstand tussen



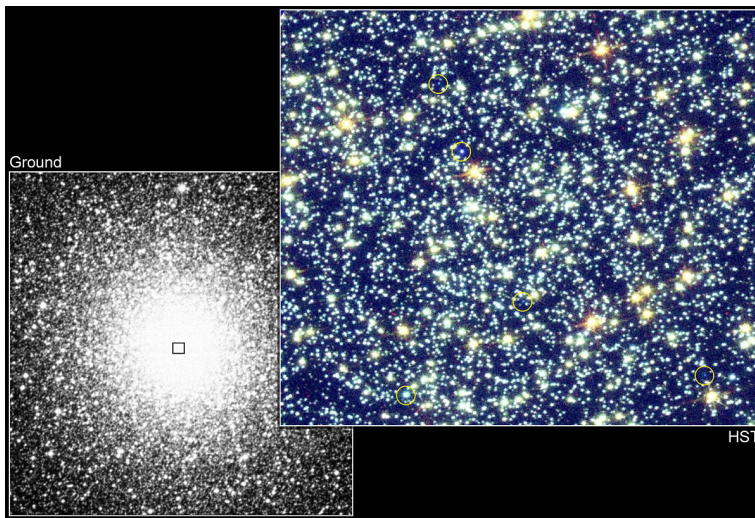
Figuur 5.10: De kern ineenstorting supernovarest Cassiopeia A. Rood representeert het infrarode licht opgevangen met de *Spitzer Space Telescope*, oranje het zichtbare licht zoals gezien door de *Hubble Space Telescope*, blauw en groen zijn de röntgenstralen zoals opgevangen door de *Chandra X-ray Observatory*. Het compacte object dat het gevolg is van de explosie kan worden gezien als het cyaan gekleurde punt in het centrum van de afbeelding. Credit: O. Krause, G. H. Rieke, E. Le Flo'ch, K. D. Gordon, E. Egami, J. Biegging, E. Young, J. L. Hinz (Steward Observatory); S. M. Birkmann, S. P. Quanz (Max-Planck-Institut fur Astronomie); J. P. Hughes (Rutgers University); D. C. Hines (Space Science Institute).

de Zon en de dichtstbijzijnde ster⁶. Binnen de *invloedsfeer* van een zwart gat zullen deeltjes, die van sterren worden weggeblazen door sterrenwinden, gevangen worden door de *accretie stromen* van het zwarte gat. Vele jonge, massieve sterren (het soort ster dat naar verwachting een supernova zal vormen) zijn waargenomen in de omgeving van super massieve zwarte gaten, deze zijn het beste zichtbaar in onze eigen Melkweg.

De eigenschappen van de accretie stromingen, zoals de variatie in gasdichtheid is afhankelijk van hoe de energie en materie wordt getransporteerd. Er zijn verschillende modellen om deze stromingen te beschrijven afhankelijk van welk onderliggend mechanisme verondersteld wordt. Maar in alle gevallen zal de structuur van het gas rondom het zwarte gat de evolutie van de supernova explosie bepalen.

Supernova's hebben een dramatisch effect op hun directe omgeving, zoals een begeleidende ster welke een paar vormt met de exploderende ster in een *dubbelster* systeem. Als de begeleidende ster dichtbij genoeg is, zal de supernova explosie de ster aanzienlijk verstoren want de buitenste gaslagen van de ster zullen worden weggeblazen in de richting van het uitdijende materiaal. In sommige gevallen kan de dubbelster

⁶Proxima Centauri—ongeveer 1 parsec, oftewel 4 lichtjaar vanaf de Zon



Figuur 5.11: Eén van de meest indrukwekkende bolvormige sterrenhopen in de zuidelijke hemel, 47-Tucanae. Links is een afbeelding van de bolhoop gemaakt door een telescoop vanaf de grond. Rechts een afbeelding die gemaakt is door de *Hubble Space Telescope* (HST) welke de individuele sterren in het centrum van de cluster kan zien, waar blauwe achterblijvers zijn geïdentificeerd (omcirkeld). Credit: R. Saffer (Villanova University), D. Zurek (STScI) and NASA/ESA.

zelfs ongebonden raken door de supernova en zal de begeleidende ster wegschieten als een *ontsnappende* ster. Kennis over hoe de supernova de begeleidende ster beïnvloed, en hoe de supernovarest wordt beïnvloed door de begeleidende ster kan helpen bij de observationele zoektocht naar dit soort begeleiders. Verstand van ontsnappende sterren uit ongebonden dubbelsterren is ook belangrijk om onderscheid te maken tussen ontsnappende sterren en andere snel bewegende sterren.

Verder richten we ons op een andere, ster gerelateerde, catastrofale gebeurtenis—deze keer geen explosie, maar een botsing tussen twee sterren. Alhoewel sterren in veel verschillende omgevingen kunnen botsen, komt deze gebeurtenis het vaakst voor diep in de centra van bolvormige sterrenhopen, bolhopen (Figuur 5.11). Een bolhoop is een oude groep sterren, ontstaan is van gas dat vereist is voor het vormen van nieuwe sterren en waarvan de sterren dicht op elkaar staan en ongeveer op hetzelfde moment ontstaan zijn. Toch zijn er, op raadselachtige wijze, in alle tot op heden bestudeerde bolhopen kort levende blauwe sterren waargenomen. Op het eerste gezicht zouden deze sterren er niet moeten zijn; hun levensduur is te kort om nog steeds aanwezig te zijn als ze tegelijk met de rest van de bolhoop gevormd waren. Twee oorzaken worden vaak als mogelijkheid gezien voor de formatie van dit soort *blauwe achterblijvers*: massatransport van de ene ster in een dubbelster systeem naar de andere ster of een botsing tussen twee sterren. Sterbotsingen in het bijzonder zijn kansrijker als de dichtheid van de sterren erg hoog is, wat in het centrum van bolhopen het geval is. De kans op een botsing wordt verder verhoogd wanneer de sterrenhoop een snelle toename van

dichtheid heeft ondergaan, een zogenaamde *kern ineenstorting* (niet te verwarren met het soort supernova met dezelfde naam).

Wat we kunnen leren van stellaire catastrofes

Het in dit proefschrift gepresenteerd werk gebruikt de hierboven geïntroduceerde catastrofale gebeurtenissen om verschillende aspecten van hun omliggende omgeving te onderzoeken. In het eerste deel onderzoek ik wat er gebeurt met supernovaresten in de binnenste regionen van sterrenstelsels zoals de Melkweg. Om te beginnen, ontwikkelen we in hoofdstuk 2, een techniek om te voorspellen hoe supernovaresten zich ontwikkelen in omgevingen met een niet-uniforme dichtheid. Dit was ontwikkeld om te onderzoeken wat er gebeurt met supernovaresten in de accretie stromen vlak bij super massieve zwarte gaten, maar de methode is algemeen genoeg om te worden toegepast op andere soorten omgevingen. Verschillende soorten accretie stromen zullen resulteren in verschillende vormen, groottes en levensduren van supernovaresten. Als we kunnen voorspellen hoe supernovaresten evolueren in deze omgevingen, dan kunnen we iets afleiden over het medium waarin ze uitdijen, en daardoor iets zeggen over de omgevingen van super massieve zwarte gaten.

Nu deze methode gedefinieerd is maak ik vervolgens in hoofdstuk 3 voorspellingen over wat er geobserveerd kan worden van supernovaresten nabij super massieve zwarte gaten. Vanwege de enorme afstanden tot zelfs de dichtstbijzijnde massieve sterrenstelsels, kunnen we niet genieten van hetzelfde detail niveau als wat kan worden bereikt in het centrum van de Melkweg. Niettemin, zelfs als we niet in staat zijn om de vorm of grootte van supernovaresten direct waar te nemen, kunnen we nog steeds hun lichtsterkte meten, welke erg helder is in röntgenstralen als de supernovarest jong is. Daarom schatten we in dit hoofdstuk wat de bijdrage van jonge supernovaresten is aan de röntgenstraling vanuit de centra van sterrenstelsels. We tonen aan dat het kan concurreren met andere bronnen van röntgenstraling, zoals de emissie die de accretie stromen van het super massieve zwarte gat zelf veroorzaken. Dit is een belangrijke overweging bij de zoektocht naar super massieve zwarte gaten in andere sterrenstelsels, die in het huidige Heelal de neiging hebben om relatief inactief te zijn, oftewel *rustig* (doordat er zeer weinig straling wordt uitgestoten zijn ze moeilijker waar te nemen).

In hoofdstuk 4 onderzoek ik wat er gebeurt met een ster die de begeleider is van een supernova explosie. We onderzoeken een tot nu toe niet uitgebreid onderzocht scenario—een begeleidende ster welke zeer dicht bij een ster staat welke, voordat hij ontploft als een supernova, is ontdaan van bijna al zijn buitenste gas lagen. Deze *gestripte kern-ineenstorting supernova*, gecategoriseerd als type Ib of type Ic supernova, hebben kleine hoeveelheden ejecta welke met hoge snelheden inslaan op de begeleidende ster. We gebruiken simulaties, gedaan met de Astrofysische Multifunctionele Software Omgeving (AMUSE), om te onderzoeken hoeveel massa van de begeleidende ster wordt verwijderd en welke schok en versnelling de ster ondergaat wanneer die geraakt wordt door de uitdijende supernova ejecta. Deze informatie is behulpzaam

om voorspellingen te doen over de observeerbare eigenschappen van dit soort ontsnappende sterren. Tot slot kijk ik naar andere effecten, zoals de mogelijke unieke handtekening van de begeleidende ster in de uitdijende supernovarest.

In hoofdstuk 5 gebruik ik modellen van, door ster botsingen gevormde, blauwe achterblijvers om meer te leren over de bolhopen waarin ze zich bevinden. We gebruiken simulaties, gemaakt met AMUSE, om sterren te evolueren en op een bepaalde tijd te laten botsen zodat ze een blauwe achterblijver vormen. Doordat ik zowel de massa als het botsingstijdstip van de sterren varieer produceer ik een grote hoeveelheid modellen. Deze zijn vervolgens vergeleken met observaties, gemaakt met de *Hubble Space Telescope*, van blauwe achterblijvers in bolhopen door voor elk model te bepalen wat er door de telescoop zou moeten zijn waargenomen. Door de modellen te vergelijken met de observaties is het mogelijk om het formatie tijdstip van deze blauwe achterblijvers te schatten. En vervolgens kunnen er conclusies getrokken worden over de formatie geschiedenis van de bolhopen, zoals wanneer deze een kern instorting hebben ondergaan.

