Downloaded from UvA-DARE, the institutional repository of the University of Amsterdam (UvA)
http://dare.uva.nl/document/103791

File ID	103791
Filename	Samenvatting

SOURCE (OR PART OF THE FOLLOWING SOURCE):

Type	Dissertation
Title	Optical observations of close binary systems with a compact component
Author	T. Augusteijn
Faculty	Faculty of Science
Year	1994
Pages	159

FULL BIBLIOGRAPHIC DETAILS:
http://dare.uva.nl/record/5377

Copyright

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.

UvA-DARE is a service provided by the library of the University of Amsterdam (http://dare.uva.nl)

Samenvatting

De meeste sterren in de melkweg zijn deel van een dubbel- of meervoudig stersysteem. Over het algemeen staan de verschillende componenten ver uit elkaar, en evolueren ze in grote lijnen als enkele sterren. Sommige dubbelsterren staan echter zo dicht bij elkaar, dat ze elkaars evolutie beïnvloeden. Het in dit proefschrift beschreven onderzoek gaat over optische waarnemingen van nauwe dubbelsterren waarvan één van beide componenten een compact object is. In het bijzonder gaat het hier om cataclysmische variabelen en lichte röntgendubbelsterren. In dit soort systemen draagt een lichte ster (typisch iets lichter dan de Zon) materie over aan een compact object. In een cataclysmische variabele is het compacte object een witte dwerg, met een massa ongeveer gelijk aan die van de Zon, en een straal vergelijkbaar met die van de Aarde. In een lichte röntgendubbelster is het compacte object een neutronenster (of mogelijk een zwart gat) met een massa van ongeveer anderhalf maal de Zon en een straal van circa 10 km. In veel opzichten lijken dit soort systemen op elkaar en ze hebben dan ook vergelijkbare baanperioden, typisch een paar uur. De verdeling van de baanperioden is echter niet hetzelfde (zie Fig. 1.2 in hoofdstuk 1). De distributie voor cataclysmische variabelen vertoont twee opvallende kenmerken: er bestaan nauwelijks systemen met perioden tussen circa 2 en 3 uur (de zogeheten "period gap"), en er is een scherpe ondergrens bij circa 80 minuten. Bij lichte röntgendubbelsterren zijn er nauwelijks systemen met perioden beneden de circa 3 uur.

De materie die de lichte ster overdraagt aan het compacte object heeft baanimpulsmoment ten opzichte van het compacte object. Hierdoor valt de materie niet direct op het compacte object, maar vormt zich een gasschijf (of accretieschijf) waarin de materie naar binnen spiraleert. Tijdens het naar binnen bewegen verliest de materie potentiële energie die voor een deel door wrijving in warmte wordt omgezet. In cataclysmische variabelen wordt de optische lichtkracht gedomineerd door de straling van de schijf als gevolg van verhitting door dit proces. In lichte röntgendubbelsterren wordt de materie als ze dichtbij de neutronenster (of zwart gat) komt zo heet, dat ze röntgenstraling uitzendt. Deze bronnen zijn 100 tot 1000 keer zo helder in het röntgengebied als in het optisch. De optische lichtkracht van lichte röntgendubbelsterren wordt dan ook gedomineerd door omzetting van röntgenstraling naar optische fotonen. Dit gebeurt in de accretieschijf en op dat deel van de begeleider dat niet door de schijf wordt afgeschermd van de röntgenstraling.

Massa-overdracht en evolutie

Een reden waarom de begeleider massa-overdraagt kan zijn dat deze ster opzwelt als gevolg van zijn evolutie. De begeleider is in dat geval een reus en de baanperioden van dit soort systemen zijn langer dan circa 10 uur. In systemen met kortere baanperioden is de begeleider echter een hoofdreeksster en is de situatie ingewikkelder. Ook een hoofdreeksster zet als gevolg van zijn evolutie uit, maar dat gaat bij de lage massa begeleiders van cataclysmische variabelen en lichte röntgendubbelsterren te langzaam om de waargenomen massa-overdrachtsnelheden te kunnen verklaren. Dit kan alleen maar verklaard worden als de afstand tussen de twee sterren langzaam kleiner wordt, waardoor de begeleider meer massa verliest aan het compacte object. Deze afname in de baanseparatie is het gevolg van het verlies van baanimpulsmoment. Voor systemen met baanperioden korter dan circa 2 uur kunnen de waargenomen massa-overdrachtsnelheden worden verklaard als gevolg van het verlies van baanimpulsmoment door het uitzenden van zwaartekrachtgolven door het dubbelster systeem (dit is een relativistisch effect). Voor baanperioden tussen circa 3 en 10 uur zijn de berekende massa-overdrachtsnelheden echter nog steeds te

laag, en een ander mechanisme moet verantwoordelijk zijn voor het verlies van baanimpulsmoment. Hoe dit mechanisme precies in zijn werk gaat is momenteel de grootste onzekerheid in de evolutie van nauwe dubbelsterren. De populairste kandidaat hiervoor is magnetische remming. In dit proces verliest de begeleider rotatie-impulsmoment aan het interstellaire medium via een zwakke sterrewind die de aan de begeleider verankerde veldlijnen volgt. Tegelijkertijd wordt de begeleider door getijdekrachten van de witte dwerg in corotatie met de baan gehouden (d.w.z. de begeleider heeft altijd dezelfde zijde naar het compacte object gekeerd; denk hierbij aan de maan). Op deze wijze gaat het verlies aan impulsmoment van de begeleider uiteindelijk ten koste van het baanimpulsmoment. Dit zorgt ervoor dat de baanseparatie afneemt, en de massa-overdracht in stand gehouden wordt. Als gevolg van de verschillende mechanismen waardoor de dubbelster baanimpulsmoment verliest zal deze naar steeds kortere baanperioden evolueren.

Zoals eerder gezegd zijn er weinig cataclysmische variabelen met baanperioden tussen 2 en 3 uur. In systemen met perioden langer dan 3 uur geschiedt de massa-overdracht voldoende snel waardoor de begeleider zich niet snel genoeg kan aanpassen, en zijn straal groter zal zijn dan in het geval van thermisch evenwicht. Als nu om een of andere reden het mechanisme dat zorgt voor het verlies van baanimpulsmoment onderbroken wordt (of veel minder efficiënt gaat werken) dan krijgt de begeleider de tijd om zijn thermisch evenwicht te bereiken, en zal de begeleider zich samentrekken. Dit heeft tot gevolg dat de massa-overdracht stopt. Het systeem zal echter nog steeds naar een kortere baanperiode evolueren door het verlies van baanimpulsmoment als gevolg van het uitzenden van zwaartekrachtgolven. Op een zeker moment zal de begeleider zo dicht bij het compacte object staan (bij een baanperiode van circa 2 uur) dat massa-overdracht weer aanvangt. In het model voor het verlies van baanimpulsmoment door magnetische remming is het idee dat deze remming sterk vermindert als gevolg van het feit dat de begeleider bij een baanperiode van circa 3 uur geheel convectief wordt.

In het geval van lichte röntgendubbelsterren is de evolutie mogelijk ingewikkelder als gevolg van het feit dat de begeleider verhit wordt door de energierijke straling die van de neutronenster afkomstig is (dit is momenteel een aktief onderzoeksgebied). Een idee is dat als de begeleider, zoals hierboven beschreven, bij een baanperiode van circa 3 uur krimpt en de massa-overdracht stopt, de neutronenster zal verschijnen als een snel roterende radio pulsar. De gammastraling van de pulsars zal de buitenlagen van de begeleider verhitten, waardoor een sterke sterrewind ontstaat. Het is dan in principe mogelijk dat de begeleider helemaal verdampt, en dat alleen een enkele snel roterende pulsar overblijft. Het systeem zal in dat geval echter niet bij een baanperiode van circa 2 uur weer als een lichte röntgendubbelster verschijnen, wat mogelijk het gebrek aan dit soort systemen met korte baanperioden kan verklaren.

De reden waarom de baanperiode distributie van cataclysmische variabelen een sterke ondergrens vertoont bij circa 80 minuten is het gevolg van het feit dat de begeleider gedegenereerd raakt. Terwijl het dubbelstersysteem naar een kortere baanperiode evolueert, verliest de begeleider voortdurend massa. Op een gegeven moment wordt de begeleider zo licht dat de waterstofverbranding in de kern ophoudt, en de ster gedegenereerd raakt. Sterren die gedegenereerd zijn hebben een grotere straal bij een lagere massa (dit in tegenstelling tot gewone hoofdreeks sterren), wat er voor zorgt dat de baanperiode toeneemt bij verdere massa-overdracht. Dit houdt in dat gedurende de evolutie de baanperiode door een minimum gaat. Er zijn een aantal systemen bekend met een baanperiode korter dan 80 minuten. De optische spectra van deze systemen vertonen echter alleen heliumlijnen (en geen waterstoflijnen); men denkt dat de begeleider een gedegenereerde heliumster is. De voorafgaande evolutie van dit soort systemen is dan ook hoogstwaarschijnlijk anders dan van de systemen met baanperioden langer dan circa 80 minuten.

Lichte röntgendubbelsterren

Het eerste deel van dit proefschrift betreft optische waarnemingen van lichte röntgendubbelsterren. Studies in het röntgengebied hebben aangetoond dat dit soort bronnen op basis van hun variabiliteit en spectrale gedrag verdeeld kan worden in verschillende groepen. Deze verschillen zijn waarschijnlijk gerelateerd aan de aard en eigenschappen van het compacte object: neutronenster of zwart gat, de sterkte van het magneetveld en de massa-overdrachtsnelheid. De bronnen die voortdurend helder zijn in het röntgengebied kunnen verdeeld worden in twee groepen, de "Z-bronnen" en de "atolbronnen". De namen van deze bronnen hebben betrekking op het patroon dat deze bronnen vertonen in een röntgen-intensiteit tegen kleur diagram (vergelijkbaar met het bekende Hertzsprung-Russell diagram) en in een röntgen kleur-kleur diagram. De ruiseigenschappen en het optreden van quasi-periodieke oscillaties in de verschillende bronnen hangen samen met de positie in deze diagrammen.

In hoofdstuk 2 wordt op basis van een nauwkeurige radiopositie de optische identificatie van de röntgenbron GX 394+2 gepresenteerd. Dit is pas de derde Z-bron die in het optisch is geïdentificeerd, en de eerste in 24 jaar.

In hoofdstuk 3 presenteren we de resultaten van gecoördineerde optische en röntgenwaarnemingen van de Z-bron Sco X-1. Het belangrijkste resultaat van dit werk was de identificatie van de waargenomen scheiding bij een magnitude van B $\simeq$ 12.8 tussen de hoge en lage helderheidstoestand van Sco X-1, met de overgang in een röntgen kleur-kleur diagram van de "normal branch" naar de "flaring branch" (twee verschillende takken van de "Z"). De optische baanlichtkromme is in beide toestanden sinusvormig, en heeft praktisch dezelfde amplitude. In hoofdstuk 3 presenteren we spectroscopie van twee atolbronnen (1636–536 en 1735–444). We vinden dat de radiële snelheidsvariaties van de emissielijnen gedomineerd worden door een component afkomstig van het punt waar de massastroom van de begeleider de schijf raakt. In lichte röntgendubbelsterren met korte baanperioden ($\lesssim$ 10 uur) lijkt deze component relatief sterk te zijn. De eigenschappen van de twee atolbronnen vertonen sterke overeenkomsten.

Cataclysmische variabelen

Het tweede deel van dit proefschrift betreft optische waarnemingen van cataclysmische variabelen. Er worden vele soorten cataclysmische variabelen onderscheiden op grond van hun uitbarstingsgedrag (novae, dwergnovae), de magnetische veldsterkte van de witte dwerg ("polars" en "intermediate polars"), of hun spectroscopische eigenschappen ("nova-like" variabelen). In intermediate polars is het magneetveld van de witte dwerg zodanig sterk dat het de binnenkant van de accretieschijf verstoort. De rotatieperioden van de witte dwergen zijn (meestal veel) korter dan de baanperioden. Dwergnovae vertonen uitbarstingen waarbij de helderheid van de bron sterk toeneemt (in sommige gevallen met een factor circa 1000). Deze uitbarstingen duren typisch 2 tot 20 dagen, en zijn het resultaat van een plotselinge toename van de massa-accretie op de witte dwerg als gevolg van een instabiliteit in de massa-overdracht van de begeleider, of een instabiliteit in de accretieschijf.

In de hoofdstukken 5 en 6 presenteren we optische fotometrie van intermediate polar (IP) type cataclysmische variabelen. Uit de in hoofdstuk 5 gepresenteerde optische waarnemingen van BG CMi vinden we dat de rotatieperiode van de witte dwerg in dit systeem korter wordt op een tijdschaal van circa $6\,10^5$ jaar. Gebruikmakend van onafhankelijke schattingen van de massa-overdrachtssnelheid en de magnetische veldsterkte van de witte dwerg vergelijken we de waargenomen tijdschaal van verandering in de rotatieperiode met twee verschillende modellen. We vinden dat de rotatiesnelheid van de witte dwerg behoorlijk afwijkt van zijn evenwichtsperiode. De tijdschaal van de periodeverandering in BG CMi is vergelijkbaar met wat in andere IP type cataclysmische variabelen gevonden wordt. Dit wijst er waarschijnlijk op dat hetzelfde fysi-

sche proces ten grondslag ligt aan deze periodeveranderingen. In hoofdstuk 6 worden uitgebreide waarnemingen gepresenteerd van de IP TV Col. We vinden dat de gemiddelde helderheid van deze bron een factor ~1.5 varieert op een tijdschaal van twee weken. Deze helderheidsvariaties zijn waarschijnlijk het gevolg van variaties in de massa-overdracht van de begeleider. Gedurende de periode van hoogste helderheid vertoont de bron uitbarstingen waarbij de helderheid circa 2 tot 5 keer zo groot wordt. De optische helderheid van de bron varieert met drie verschillende perioden: één is de baanperiode, en van de overige twee perioden denkt men dat ze het gevolg zijn van het precederen van de accretieschijf in dit systeem. Het is ons niet gelukt om de variaties bij deze laatste twee perioden met een constante periode te beschrijven, en we menen dat de onderliggende precessieperiode van de schijf niet stabiel is.

De laatste drie hoofdstukken betreffen optische waarnemingen van dwergnovae. In hoofdstuk 7 presenteer ik spectroscopie van de dwergnova VY Aqr. De systeem parameters van VY Aqr blijken sterk overeen te komen met die van een andere dwergnova OY Car. Echter, de amplitude van de uitbarstingen van VY Aqr is een factor ~15 keer zo groot als in OY Car. Dit komt waarschijnlijk door de lagere massa-overdrachtsnelheid van de begeleider in VY Aqr gedurende de perioden dat de bron niet in uitbarsting is. In de hoofdstukken 8 en 9 worden spectroscopische en fotometrische waarnemingen gepresenteerd van de dwergnova V485 Cen. We vinden dat de baanperiode van deze bron 59 minuten is. Dit is erg verrassend aangezien deze waarde ver onder de minimum baanperiode van circa 80 minuten ligt. De detectie van Hα in het spectrum sluit uit dat deze bron vergelijkbaar is met andere bronnen die een baanperiode onder de 80 minuten hebben. De meest waarschijnlijke verklaring is dat de begeleider relatief weinig waterstof bevat.

In hoofdstuk 10 geef ik een beschrijving van een project waarmee ik in 1992 ben begonnen. Het doel van dit project is om een vergelijkende studie te maken van cataclysmische variabelen in de galactische schijf en de halo. Door de verdeling van baanperioden en de ruimtelijke dichtheden van de twee groepen te vergelijken hopen we meer te weten te komen over de vorming en evolutie van cataclysmische variabelen.