



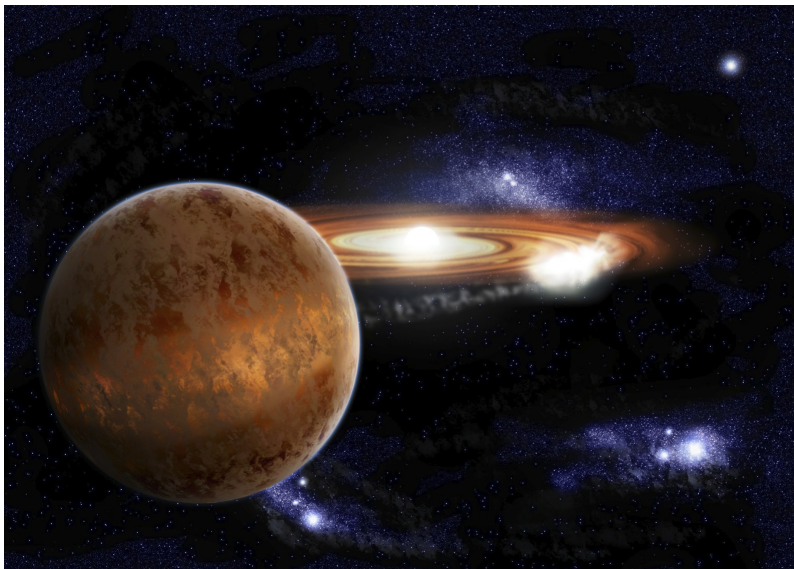
*Multi-Wavelength Studies of Compact  
Binaries* L.E. Rivera Sandoval

## Nederlandse Samenvatting

Compacte dubbelsterren (CBs) zijn dubbelster-systemen waarin een witte dwergster (WD), een neutronenster (NS) of een zwart gat (BH) massa ontvangt van een lichte partner-ster. De afstand tussen de twee componenten van het systeem is klein genoeg dat er interactie (zoals massa overdracht) tussen de twee kan plaatsvinden. CBs lenen zich voor het bestuderen van een breed scala aan astrofysische fenomenen, zoals de eindfase van sterevolutie, massa-overdracht en toename, de toestandsvergelijking van ultradense materie en lenen zich ook voor het testen algemene relativiteit in een sterk veld.

Deze soort dubbelsterren komen voor in verschillende omgevingen, zoals in het veld van het Melkwegstelsel, maar ook in bolvormige sterrenhopen (GCs). Het is echter niet altijd eenvoudig om ze te bestuderen. Factoren als sterrophopingen, hoge interstellaire extinctie, onzekere afstanden en intrinsieke lage helderheid maken het moeilijk ze te identificeren en/of te onderzoeken. Daarom is de analyse van observaties bij verschillende golflengten van fundamenteel belang. Dat geldt ook voor het combineren van verschillende technieken om gegevens te analyseren. In dat opzicht heeft de ontwikkeling van telescopen met hoge resolutie en gevoeligheid (zoals de *Hubble Space Telescope* en de *Chandra X-ray Observatory*) veel verbetering gebracht in onze kennis over en ons begrip van CBs, aangezien het bijvoorbeeld alleen met deze telescopen mogelijk is om CBs in drukke omgevingen als GCs te identificeren en te bestuderen.

In dit proefschrift richt ik mij op de analyse van verschillende typen CBs waarin een WD of een NS de primaire objecten zijn. In het bijzonder zijn dat: cataclysmische variabelen (CVs), ultracompacte WD dubbelsterren (ook wel bekend onder de naam AM CVns), radio milliseconde-pulsars (MSPs), transitionele MSPs (tMSPs) en NS met lichte-massa-metgezel röntgenstraal-dubbelsterren (NS LMXBs). Deze zijn tot nog toe onderzocht geweest met behulp van observaties in het ultraviolet (UV), in optische golflengten en in röntgenstralen, met behulp van de ruimtetelescopen *Hubble*, *Chandra*, *Swift* en *GALEX*.



**Figuur A:** Artistieke indruk van een compacte binaire. Credit: Stuart Littlefair/Science.

In Hoofdstuk 2 presenteer ik de ontdekking van twee metgezel-sterren bij MSPs, gebruikmakend van de door *Hubble* waargenomen nabij-UV (NUV)-beelden van de GC 47 Tucanae (47 Tuc). Ik toon ook de ondubbelzinnige identificatie aan van nog twee van deze MSP-metgezellen. Alle geïdentificeerde systemen werden geclassificeerd als He WDs gebaseerd op hun NUV en optische kleuren. In het onderzoek werden parameters als massas en koelingsleeftijden bepaald. Dit op zijn beurt helpt dan weer om de eigenschappen van de NS in de systemen beter te bepalen. Tot voor kort was slechts voor 10 van de  $\sim 90$  dubbelster-radio-MPSs die in de GCs van ons Melkwegstelsel zijn gevonden, de metgezel-ster met zekerheid geïdentificeerd in de optische golflengten. Dit betekent dat de nieuwe identificaties in 47 Tuc een vermeerdering van zeker 40% geven op het totale aantal tegenhangers van MSP-metgezellen.

In Hoofdstuk 3 presenteer ik een zeer uitgebreide en gedetailleerde fotometrische studie van massa-aannemende WDs in de GC 47 Tuc, in het NUV en in optische golflengten. Ik maakte gebruik van beelden van de *Hubble telescoop* om 238, eerder met behulp van *Chandra* gevonden röntgenstraal-bronnen te analyseren. Deze analyse bracht de ontdekking voort van 22 nieuwe CVs en de bevestiging van nog eens 3 van dit soort systemen. Zodoende is 47 Tuc nu de GC met de meeste geïdentificeerde CVs tot nog toe. Vóór dit onderzoek waren er slechts enkele tientallen CVs bekend in de GCs van het Melkwegstelsel. Met de toevoeging van meer dan 20 nieuwe CVs in GCs laat ik zien dat een NUV-geleide zoektocht, in combinatie met optische en  $H\alpha$ -fotometrie alsmede röntgen-observaties van de bronnen in het cluster, een krachtige

---

techniek is in het identificeren van deze systemen.

Ook laat ik voor het eerst een vergelijking zien tussen de eigenschappen van de CVs in GCs met ingevallen en niet-ingevallen kern. Deze resultaten werpen licht op de effecten van sterinteracties als ook de vorming en evolutie van CVs in dichte stellaire omgevingen.

In Hoofdstuk 3 presenteer ik ook de tweede kandidaat-AM CVn in een GC ooit gevonden, alsmede vier potentiële MSP-metgezellen waarvoor er nog geen radiopulsaties van de bijbehorende NS zijn gerapporteerd.

In hoofdstuk 4 heb ik mid-UV-(MUV)-studies uitgevoerd van de tMSPs XSS J12270-4859 en PSR J1023+0038 tijdens hun radio-pulsarfase, met beelden genomen door de ruimtetelescopen *Hubble*, *Swift* en *GALEX*. Door een Markov-keten Monte Carlo lichtcurve-fitting toe te passen op optische en MUV-data, laat ik zien dat de veronderstelde schok tussen de componenten van het dubbelsysteem die gevormd wordt door de interactie van de pulsarwind met de van de metgezel afkomstige uitvloeiende materie, bijdraagt aan de geobserveerde MUV en optische straling van het systeem. Tot voor kort werd er verondersteld dat de metgezel verantwoordelijk was voor alle straling in de golflengten van het UV tot het infrarood. De resultaten van Hoofdstuk 4 zijn echter een krachtige aanwijzing dat dit niet het geval is. De gepresenteerde MUV-fotometrische resultaten voor tMSP PSR J1023+0038 wijzen op een assymetrische geometrie voor de veronderstelde schok binnen het systeem. Dit geeft nieuwe inzichten over de configuratie van deze tMSP tijdens de radio-MSP-fase.

Ten slotte toon ik in Hoofdstuk 5 een röntgenanalyse van de transiënt NS LMXB EXO 1745–248 in de GC Terzan 5. Gebruikmakend van *Chandra*-gegevens bestudeerde ik de stille fase van het systeem. Deze röntgen-dubbelster toont extreme helderheidsvariëaties van wel  $\sim 3$  ordes van grootte (enkele  $10^{31-34}$  erg s $^{-1}$ ) in tijdschalen van dagen tot jaren. In tegenstelling tot veel andere NS LMBX'en van deze helderheid, was de foton-index van deze bron altijd hard ( $\Gamma \sim 1.4$ ). Deze buitengewone eigenschappen van het systeem konden worden toegeschreven aan voortdurende massa-overdracht tijdens de stille fase. EXO 1745–248 gedraagt zich echter ook anders dan andere NS LMBX'en waarvan wordt vermoed dat ze massa overdragen tijdens de stille fase. Het gedrag van EXO 1745–248 is dus atypisch en moet in meer detail onderzocht worden met behulp van nieuwe observaties.