



*Properties of Massive Stars in the Tarantula Nebula*

O.H. Ramírez Agudelo

## Samenvatting

In dit proefschrift wordt de kwantitatieve analyse gepresenteerd van zware O-sterren in het 30 Doradus gebied van de Grote Magelhaense Wolk. De data zijn vergaard in het kader van de VLT-Flames Tarantula Survey (VFTS), een groot observationeel programma van de Europese Zuidelijke Sterrenwacht waarin op meerdere tijdstippen optische spectroscopie is gedaan van 800 OB-sterren met de Very Large Telescope (VLT) in Chili.

Het eerste deel van dit proefschrift (Hoofdstukken 2 en 3) is gericht op de stellaire rotatie-eigenschappen van in spectroscopische zin enkelvoudige sterren en dubbelsterren in 30 Doradus. De distributie van rotatiesnelheden van zware sterren is belangrijk omdat dit een vingerafdruk is van hun vormingsproces, welke niet goed begrepen wordt, en een belangrijk ingrediënt voor hun evolutie.

Het tweede deel van dit proefschrift is gericht op de analyse van de eigenschappen van O-type reuzen, heldere reuzen en superreuzen in de VFTS (Hoofdstukken 4 en 5). Met behulp van kwantitatieve spectroscopie leggen we van de bronnen in ons onderzoek de ster- en windparameters vast, evenals de oppervlakte abundanties. We vergelijken deze observationele resultaten met voorspellingen van theorieën van de evolutie van zware sterren.

## Rotatieve eigenschappen van zware sterren in 30 Doradus

We hebben de rotatiedistributie van O-sterren in 30 Doradus onderzocht. Dit is het meest nabije gebied waar in korte tijd zeer veel zware sterren geboren worden, en het bevat de grootste populatie van zware sterren in de Lokale Groep. Door op meerdere tijdstippen spectroscopische waarnemingen in zichtbaar licht te doen van meer dan 330 O-sterren, hebben we met de VFTS bepaald dat 216 sterren alleenstaand zijn ( $\Delta RV \leq 20$  km/s) en dat er 116 dubbelsterren zijn.

In Hoofdstuk 2 onderzoeken we de rotatiedistributie van alle enkelvoudige sterren. We hebben gevonden dat de distributie van rotatiesnelheden twee componenten heeft: een piek bij lage snelheden ( $v_e \sin i < 200$  km/s) voor 75% van alle alleenstaande sterren en de rest bij hogere snelheden. De aanwezigheid van deze piek bij lage snelheden is consistent met eerder onderzoek. Gebaseerd op theorieën van stervorming en de evolutie van enkelvoudige sterren, lijkt het zo te zijn dat de meeste sterren snel na hun vorming veel rotatiesnelheid verliezen, van kritieke of half-kritieke snelheden naar  $\sim 0.1-0.3$  keer de snelheid waarbij de ster gas van zijn oppervlak zou wegslingeren. Voor het merendeel van de O-sterren is het verlies van draaiimpulsmoment door een sterrenwind niet voldoende om dit te bewerkstelligen, en een ander mechanisme moet een rol spelen in het afremmen van de rotatie van sterren; een magnetische veld is hier een vooraanstaande kandidaat voor. De aanwezigheid van een aanzienlijke hoeveelheid sterren met een hoge snelheid is consistent met theorieën van de evolutie van dubbelsterren, en komt kwalitatief overeen met recentelijk gepubliceerde synthese-berekeningen.

In Hoofdstuk 3 onderzoeken we de rotatie-eigenschappen van sterren in dubbelstersystemen. Daar hebben we ook een piek bij lage snelheden gevonden, hoewel deze breder is en verschoven richting hogere rotatiesnelheden in vergelijking met de spectroscopische enkelvoudige sterren. We beargumenteren dat onze resultaten consistent zijn met de aanname dat de sterren in dubbelstersystemen worden gevormd met dezelfde rotatiedistributie als alleenstaande sterren, en het verschil in de vorm van de piek bij lage snelheden komt door getijdenwerking welke een effect heeft op de rotatie van sterren in compacte dubbelstersystemen. De rotatiedistributie van dubbelsterren heeft weinig sterren die zeer snel roteren ( $v_e \sin i > 300$  km/s). Dit is ook in overeenkomst met de hypothese dat een groot aantal van de alleenstaande sterren met hoge

snelheden wordt gevormd door het versnellen van de rotatie in een dubbelstersysteem.

### **Fysische eigenschappen van type O reuzen, heldere reuzen en superreuzen**

In het tweede deel van dit proefschrift onderzoeken we de ster- en windeigenschappen, en de abundanties van helium en stikstof aan het oppervlak van O-type reuzen, heldere reuzen en superreuzen in de VFTS. In Hoofdstuk 4 presenteren we de stereigenschappen van de reuzen en superreuzen door gebruik te maken van een genetisch algoritme om synthetische lijnprofielen die worden gegenereerd met de niet-LTE atmosfeer code *fastwind* te fitten aan de waargenomen spectrale lijnen. Al onze sterren fuseren waterstof in hun kern; de meeste hebben een ster massa tussen 15 en 70 zonsmassa's, alhoewel een aantal bronnen ongeveer 100 zonsmassa's zwaar zijn. We laten zien dat de temperatuur calibratie van spectrale sub-typen per lichtkrachtklasse ten opzichte van elkaar verschoven zijn, in overeenstemming met theoretische verwachtingen. We onderzoeken de mogelijke correlatie tussen de helium-abundantie en rotatiesnelheid, en we concluderen dat niet al onze resultaten kunnen worden verklaard door rotatie gedreven menging van het gas in de ster, aangezien sommige helium-rijke sterren een  $v_e \sin i < 200$  km/s hebben. We presenteren ook het windimpuls versus lichtkracht diagram. Uitgaande van theoretische resultaten voor de versnelling van de wind, vinden we een windimpuls voor sterren in de Grote Magelhaense Wolk die 0.2 dex hoger ligt dan eerdere resultaten.

In Hoofdstuk 5 presenteren we de stikstof-abundanties van de reuzen en superreuzen. Met behulp van de in hoofdstuk 4 gevonden stellaire parameters hebben we een methode ontwikkeld om op een snelle doch robuuste wijze de abundantie van dit element te bepalen. Deze methode vergelijkt de equivalente breedte van stikstoflijnen met theoretische equivalente breedtes uit de *fastwind* modellen. Door de hoeveelheid stikstof te vergelijken met de rotatiesnelheid leggen we beperkingen op aan de theorie rotatie gedreven menging in zware sterren. Met de kwaliteit van onze data is het moeilijk om de stikstoflijnen van snel roterende sterren ( $\geq 200$  km/s) te onderscheiden van ruis. De bovenlimieten die we hebben verkregen voor deze bronnen spreken de theorie van menging door rotatie niet tegen. Voor de sterren die langzaam roteren vinden we een groep verrijkte sterren die niet wordt voorspeld door de theorie van rotatie gedreven menging. We bespreken mogelijke verklaringen, waaronder de evolutie in een dubbelstersysteem of de aanwezigheid van een magneetveld.