

Nederlandse Samenvatting

Wanneer we naar een plaatje van een spiraalstelsel kijken zoals Fig. 1 in het inleidend hoofdstuk van dit proefschrift, kunnen we twee hoofdcomponenten onderscheiden : de schijf en de 'bulge' (de verdikking in het centrum). Zoals de naam het zegt heeft de eerste de vorm van een dunne schijf terwijl de tweede het elliptische systeem is in het centrum. Het overgrote deel van de massa in deze twee componenten bevindt zich in sterren; de schijf bevat daarnaast ook nog grote hoeveelheden gas en stof, doorgaans gemeenschappelijk onder de noemer 'interstellair materie' geplaatst. Hoofdstukken 2, 3 en 4 van dit proefschrift gaan over de verdeling van sterren in de bulge, en wat we hieruit kunnen leren aangaande het tijdstip en het mechanisme van de vorming van de bulge en het sterrenstelsel in het algemeen. De bulge bestaat voornamelijk uit oude sterren die rond de symmetrie-as van het sterrenstelsel roteren. Maar omdat we niet weten in welke mate de sterren van de schijf bijdragen tot de lichtkracht van de bulge, is het moeilijk om een precieze beschrijving te geven van de manier waarop de bulge-sterren verdeeld zijn. Dit staat bekend als het 'bulge-schijf ontbinding' (bulge-disk decomposition) probleem. Doorgaans lost men dit op door te veronderstellen dat de bulges van alle sterrenstelsels een dichtheid en oppervlaktehelderheidsverdeling hebben die lijkt op die van elliptische sterrenstelsels; namelijk dat de logaritme van de oppervlaktehelderheid evenredig is met de straal tot een zekere macht ($1/4$). De som van deze wet en van een exponentiële schijf wordt dan gefit aan de totale oppervlaktehelderheid van het sterrenstelsel, en de parameters van de bulge worden dan afgeleid uit best-fit parameters van deze $r^{(1/4)}$ wet. In Hoofdstuk 2 verlaten we de veronderstelling dat de dichtheid en oppervlaktehelderheidsverdeling van de bulges lijkt op die van elliptische stelsels en gebruiken in de plaats een wet die zegt dat de oppervlaktehelderheid exponentieel afhangt van de straal (plain exponential). We tonen aan dat dit een betere en meer consistente beschrijving is van de bulges, vooral voor sterrenstelsels waar de bulge klein is in vergelijking met de schijf. In Hoofdstuk 3 wordt deze conclusie bevestigd en gesterkt door een nieuwe, model-onafhankelijke decompositiemethode te introduceren om de bulge uit het totale profiel van het stelsel te extraheren. Men vindt dan dat de vorm van het bulgeprofiel systematisch wijzigt, afhankelijk van de relatieve grootte van de bulge en de schijf. Relatief grotere bulges hebben een gelijkaardig profiel aan dat van de elliptische stelsels, terwijl kleinere bulges profielen vertonen die steeds dichter bij de exponentiële wet liggen. Wat kunnen we hieruit nu leren over het tijdstip en het mechanisme van de vorming van de bulge?

Er zijn twee verschillende scenario's over hoe zo'n bulge gevormd wordt. Volgens het eerste 'klassieke' scenario is die gevormd toen het sterrenstelsel nog jong was, voor de schijf gevormd is. Volgens het tweede scenario wordt de schijf eerst gevormd en pas later

de bulge, door processen die materiaal ophopen in het centrum van de schijf. Als de schijf later gevormd is dan de bulge, dan is het mogelijk dat dit proces zijn signatuur heeft achtergelaten op de oppervlaktehelderheid van de bulge; het zou kunnen dat de verandering in de helling van het oppervlaktehelderheidsprofiel van vroeg tot laat type spiraalstelsels het effect is van de vorming van de schijf *na* de bulge. In Hoofdstuk 4 doen we een numerieke simulatie van de vorming van de schijf rond een al bestaande bulge. De bulge wordt vertegenwoordigd door enkele tienduizenden deeltjes in evenwicht en het krachtenveld van de schijf wordt hier langzaam omheen gevormd. Het resultaat is dat het profiel van de bulge inderdaad verandert van de oorspronkelijke elliptisch-stelsel-achtige vorm naar een meer exponentiële vorm, afhankelijk van de massa van de disk. De conclusie is dat de meeste bulges die we tegenwoordig waarnemen zeer waarschijnlijk gevormd werden voorafgaand aan de schijf; dat wil zeggen, het ‘klassieke’ scenario lijkt correct te zijn voor deze bulges. Echt exponentiële bulges kunnen op deze manier echter niet gevormd worden. Het lijkt waarschijnlijker dat ze gevormd zijn ná de schijf, als gevolg van de opeenhoping in het centrum van gas en sterren uit de schijf.

Het laatste deel van dit proefschrift behandelt een component van spiraal stelsels die *niet* gezien kan worden omdat het geen waarneembare electro-magnetische straling uitzendt—het is donker. Hoe weten we dan dat het er is? De belangrijkste indicatie voor het bestaan van donkere materie is de snelheid waarmee de sterren in de zichtbare schijf van het stelsel rond het centrum roteren. De grootte van deze snelheden hangt af van de massa die zich binnen de afstand van deze sterren tot het centrum bevindt; hoe groter de massa, des te groter de snelheid. De stellaire snelheden in de buitendelen van stelsels, voor het eerst waargenomen in de zeventiger jaren, laten zien dat er veel meer massa in een melkwegstelsel aanwezig is dan we met onze optische of radio telescopen kunnen zien. Tenzij we bereid zijn de zwaartekrachtswet van Newton aan te passen, is de enige uitleg hiervoor dat er een extra massa component in spiraal stelsels bestaat, de zogenaamde *donkere halo*, die zich van het centrum van deze stelsels uitstrekt naar een onbekende straal, ver voorbij het punt waar de zichtbare materie ophoudt.

De rotatie krommes van melkwegstelsels kunnen het best verklaard worden door een verdeling van de donkere materie aan te nemen die een constante dichtheid heeft binnen een bepaalde straal. Dit gebied van constante dichtheid wordt meestal ‘core’ (kern) genoemd, en deze modellen beschrijven een ongeveer isotherme bol. De donkere halo’s die in cosmologische simulaties gevormd worden hebben deze verdeling echter niet. In plaats van een constante dichtheid nabij het centrum, neemt de dichtheid snel toe naarmate we dichter bij het centrum komen. Deze halo’s worden ‘singulier’ genoemd. Behalve voor dwergen en lage oppervlakte helderheids stelsels, kunnen de rotatie krommes nog steeds makkelijk gemodelleerd worden met een dergelijke donkere materie verdeling. Deze andere verdeling lijkt dus geen groot probleem te zijn. Er vindt echter wel een proces plaats dat de zaken bemoeilijkt: de vorming van het zichtbare stelsel in de donkere materie halo. In Hoofdstuk 5 simuleren we de vorming van een stelsel in een donkere halo. Het invallen van de baryonische materie naar het centrum heeft enkele nogal belangrijke gevolgen. Een deel van de donkere materie wordt door dit proces naar binnen getrokken, en de dichtheid van de donkere materie zal in het centrum dus nog sneller toenemen dan oorspronkelijk het geval was. De uiteindelijke vorm van de donkere halo kan met geen mogelijk meer

de vorm van de rotatie kromme verklaren; de rotatie kromme die uit de simulaties volgt daalt, terwijl de waargenomen krommes vlak zijn of stijgen. Deze inconsistenties tussen de halos die gevormd worden in het Cold Dark Matter model en de halos die nodig zijn om de waargenomen rotatie krommes te verklaren, zouden erop kunnen duiden dat andere vormen van donkere materie overwogen moeten worden, of dat er helemaal van het idee van donkere halos afgestapt moet worden.

Acknowledgements

For this thesis, I owe a lot to many people who generously gave their advice, guidance, time, encouragement, a pat on the shoulder, or a smile. Running the danger of forgetting someone that I shouldn't, here it goes. I would like to thank:

My supervisor, Bob Sanders. First, for entrusting this position to a foreign student who came out of nowhere. Then, for his continuous expert advice, encouragement, understanding and jokes, and for allowing me complete freedom to choose the direction of the research. And I don't know if he ever realized how fast he kept on returning the corrected manuscripts. For supervisor standards, it was in a blink of an eye.

My parents, without whose encouragement and support this thesis would never have started, let alone finished. *Ευχαριστω τους γονεις μου, χωρις τη συνεχη ενθαρρυνση και συμπαρασταση των οποιων, αυτη η διατριβη ουτε καν θα ειχε αρχισει.*

Piet van der Kruit, who gave me the opportunity to come to Groningen for the first time and who was my supervisor during my first 6 months here as an exchange student.

My collaborators: Reynier Peletier, for his unstoppable inflow of data, ideas, and razor-sharp remarks that taught me to cover my back, examine things in depth, question everything and bring my tones down (My success in the first three ones is questionable, and I think I failed in the last one, but this is my fault). And Marc Balcells for helping me to get started with N-body simulations and for his calming influence.

Kor Begeman, for writing the core of the fitting routines used in Chapters 2 & 3 and for his general software support. Wim Zwitter, for instantaneous response to hardware problems. Jantina, for arranging thousands of things for me, especially during my first year here.

My friend and housemate Vasilis, for his support through all these years, the endless discussions on Life, the Universe and Everything, and all the things we shared. Amalia, for her continuous encouragement and delicious soups in times of need. Andriana, for her friendship, hospitality and L^AT_EX help. If I have any sanity left, it's thanks to these people.

My two consecutive officemates, Erwin and Diah, for the fun we had. My colleagues Jan, Richard, Alain and especially Jean-Philippe, for their friendship, support, stories and common interest in certain, er, disciplines, in the last couple of years.

The skydivers and instructors of NNPC for their friendship and for sharing big amounts of adrenaline with me. Zonder hen, zou ik Nederlands nooit cunnen praten.

Roger Waters, Ritchie Blackmore and Michael Stype for their great songs that kept me awake to write this thesis.

My first mentor in Astronomy, Kyriaki Xylouri, who taught me all I know about data reduction and showed me what hard work really means.

And Renzo Sancisi. For no special reason.