

University of Groningen

## Angular momentum in binary spiral galaxies

Oosterloo, Thomas Anne

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*  
1988

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Oosterloo, T. A. (1988). *Angular momentum in binary spiral galaxies*. s.n.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, 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), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

**Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

## Samenvatting – Summary in Dutch

Een probleem dat centraal staat in de hedendaagse sterrenkunde is de vorming van sterrenstelsels. In de laatste decennia is hier veel onderzoek naar gedaan en het inzicht in wat de belangrijke processen zouden kunnen zijn bij de vorming van sterrenstelsels is erg toegenomen. Echter, een aantal belangrijke onderdelen van de vorming van sterrenstelsels zijn nog nagenoeg onbegrepen. Eén van de redenen hiervoor is dat er sterke aanwijzingen zijn dat het grootste deel van de materie die in een sterrenstelsel aanwezig is, niet direct waargenomen kan worden. D.w.z. dat er van deze materie geen straling wordt waargenomen zoals dat het geval is voor de sterren, het gas en het stof in de sterrenstelsels. De aanwezigheid van deze donkere materie wordt vermoed op grond van de zwaartekracht die deze donkere materie uitoefent. Deze kan worden vastgesteld door de bewegingen van de sterren en van het gas in een sterrenstelsel te vergelijken met wat voor deze bewegingen voorspeld wordt op grond van de waargenomen hoeveelheid en ruimtelijke verdeling van de *zichtbare* materie. Wat in de praktijk blijkt is dat deze voorspelling in het geheel niet overeenstemt met de waarnemingen. Er moet dus materie aanwezig zijn die we niet direct kunnen zien: donkere materie.

Daar de donkere materie alleen indirect waarneembaar is, is er vrijwel niets bekend over de eigenschappen ervan. Het is zelfs niet bekend hoeveel donkere materie er precies is. Omdat een sterrenstelsel waarschijnlijk voor het grootste deel uit donkere materie bestaat, speelt deze een grote rol bij de vorming van sterrenstelsels. Daar er verder weinig bekend is over de donkere materie, is het dus moeilijk een goed inzicht te krijgen in de condities in het heelal op het moment dat de sterrenstelsels zich vormen.

Een andere reden waarom dit moeilijk is, is dat de sterrenstelsels die we in onze directe omgeving kunnen waarnemen, zich reeds lang geleden gevormd hebben. Met andere woorden, de vorming van sterrenstelsels is een proces dat vrijwel niet direct waarneembaar is. Dit betekent dat het vormingsproces zelf, zoals dat volgens de theoretische modellen zou moeten gaan, niet direct met waarnemingen vergeleken kan worden. Het enige wat mogelijk is, is het uiteindelijke resultaat van de modellen, een model sterrenstelsel, te vergelijken met de stelsels die dicht bij ons in de buurt staan. Bij voorkeur gebruikt men bij een dergelijke vergelijking eigenschappen die na het ontstaan van het stelsel niet veel meer zijn veranderd. Door dergelijke eigenschappen te bestuderen krijgt men indirect een beeld van de condities en de processen die bij de vorming van sterrenstelsels een rol spelen.

De modellen die er bestaan voor de vorming van sterrenstelsels zijn ruwweg in te delen in twee groepen, nl. de *top-down*- en de *bottom-up* modellen. Deze indeling houdt enigszins verband met de eigenschappen die in deze modellen voor de donkere materie worden verondersteld. In de *top-down* modellen zijn de eigenschappen van de donker materie zodanig dat clusters en superclusters de eerste structuren zijn die worden gevormd. Deze structuren zijn veel groter dan de huidige sterrenstelsels. Ze hebben afmetingen die in de orde liggen van 1 tot 10 Mpc (1 Mpc komt overeen met

ongeveer 3 miljoen lichtjaar). Deze (super-)clusters breken, na hun vorming, op in kleinere groepen sterrenstelsels en individuele stelsels. Deze (super-)clusters kunnen nu nog worden waargenomen. Ze bevatten veelal duizenden sterrenstelsels.

In de bottom-up modellen zijn de veronderstelde eigenschappen van de donkere materie zodanig dat dit vormingsproces juist andersom gaat. Eerst vormen zich kleinere objecten die later samenklonteren in sterrenstelsels, die op hun beurt weer samenklonteren tot clusters en superclusters.

Een belangrijke eigenschap van veel sterrenstelsels is dat ze rond hun as draaien. Voor een grote groep sterrenstelsels, die vanwege hun aanblik spiraalstelsels worden genoemd, is deze rotatie een belangrijke faktor om de structuur van deze stelsels te begrijpen. De modellen voor de vorming van sterrenstelsels moeten kunnen aangeven waarom deze stelsels roteren. De herkomst van de rotatie van sterrenstelsels vormt de achtergrond van het onderzoek dat in dit proefschrift wordt beschreven.

Een mogelijkheid om de modellen voor de vorming van sterrenstelsels te testen is, kijken of de modellen de juiste hoeveelheid rotatie voor sterrenstelsels voorspellen. In de praktijk blijken haast alle modellen dit wel korrekt te voorspellen. Een dergelijke test levert hierdoor niet veel extra informatie op.

Een andere mogelijkheid om de modellen met de waarnemingen te vergelijken is, kijken of er een samenhang bestaat in de stand van de rotatieassen van verschillende sterrenstelsels. Sommige modellen voorspellen namelijk dat een dergelijke samenhang bestaat. Er is door onderzoekers bijvoorbeeld gekeken of de stand van de rotatieassen van de sterrenstelsels in dezelfde cluster of in dezelfde supercluster een bepaalde samenhang vertonen. Zou zo'n samenhang over een hele cluster bestaan, dan is dat een aanwijzing dat de vorming van sterrenstelsels plaats heeft via een top-down proces. Het resultaat van deze onderzoeken is dat er geen sterke aanwijzingen zijn dat zo'n samenhang bestaat. Voor sommige superclusters lijkt er inderdaad een samenhang te bestaan, maar het patroon ervan verschilt dan weer met wat voor andere superclusters gevonden wordt. Soms worden zelfs voor dezelfde supercluster verschillende, tegenstrijdige, resultaten gevonden.

Het is ook mogelijk dat er op veel kleinere schaal, d.w.z. voor kleine groepen sterrenstelsels, een samenhang in de oriëntatie van de rotatieassen bestaat. Dit is de mogelijkheid die in dit proefschrift is onderzocht. Eén van de mogelijke oorzaken waardoor sterrenstelsels roteren is dat de materie, waaruit zich uiteindelijk een sterrenstelsel vormt, door getijdenwerking aan het draaien wordt gebracht. Deze getijdenkracht wordt veroorzaakt door één of meerdere sterrenstelsels in de omgeving. Omdat op het moment dat sterrenstelsels zich vormen de afstand tussen de verschillende stelsels veel kleiner is dan tegenwoordig – dit vanwege de uitdijing van het heelal – speelt deze getijdenwerking alleen een rol tijdens de vorming van sterrenstelsels. Dit mechanisme waardoor sterrenstelsels aan het draaien worden gebracht, is vaak onderdeel van bottom-up modellen.

Veel sterrenstelsels blijken voor te komen in paren, d.w.z. dat twee stelsels onder invloed van elkaars zwaartekracht rond elkaar draaien. De afstand tussen de twee stelsels is klein ten opzichte van de afstand tot andere stelsels in de buurt en het paar vormt een geheel dat relatief geïsoleerd is van zijn omgeving. Nu bestaat voor deze paren de mogelijkheid dat de getijdenwerking die verantwoordelijk is voor de rotatie

van het ene stelsel, paar en vice versa. van de rotatieassen waarnemen is dat de van ongeveer  $0^\circ$ ) of echter niet noodzakelijk bestaat. Dit ook inderdaad geïsoleerd korrelatie verstoord. Een aantal onderzoeken een korrelatie tussen de meeste van deze zelf, maar naar een paar de rotatieassen niet een mogelijkheden voor geprojecteerd, alle het dat er meestal geen, een korrelatie tussen de beter geïsoleerd zijn dit niet het geval is. goed geïsoleerd zijn van onderzoek is geprobeerd hierbij is echter dat paar te zijn op het moment ieder paar niet exact is of dat het twee stelsels staan, maar in werkelijk geschat dat ongeveer echte dubbele sterren. Wanneer men zich werkelijke stand van projectie hiervan. Dit hierdoor eenduidig van informatie gebruikt waarin alleen de paar dit proefschrift is de aantal dubbele spiraal de dingen die we met te kunnen bepalen behulp van waarnemingen bevatten grote hoeveelheden dat het radiostraler radiostraling kan worden beschreven in dit proefschrift. Verenigde Staten ©

hun vorming, op in  
super-)clusters kunnen  
sterrenstelsels.

open van de donkere  
. Eerst vormen zich  
ie op hun beurt weer

rond hun as draaien.  
spiraalstelsels worden  
ur van deze stelsels te  
eten kunnen aangeven  
sterrenstelsels vormt de  
schreven.

stelsels te testen is,  
stelsels voorspellen. In  
spellen. Een dergelijke

ngen te vergelijken is,  
assen van verschillende  
n dergelijke samenhang  
and van de rotatieassen  
ercluster een bepaalde  
cluster bestaan, dan is  
heeft via een top-down  
sterke aanwijzingen zijn  
lijkt er inderdaad een  
an weer met wat voor  
or dezelfde supercluster

. voor kleine groepen  
ieassen bestaat. Dit is  
van de mogelijke oorza-  
uit zich uiteindelijk een  
wordt gebracht. Deze  
stelsels in de omgeving.  
stand tussen de verschil-  
e uitdijing van het heelal  
ming van sterrenstelsels.  
worden gebracht, is vaak

dat twee stelsels onder  
afstand tussen de twee  
s in de buurt en het paar  
g. Nu bestaat voor deze  
ordelijk is voor de rotatie

van het ene stelsel, hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door het andere stelsel van het paar en vice versa. Hierdoor zou er een korrelatie kunnen ontstaan tussen de stand van de rotatieassen van de twee stelsels. De korrelatie die men in dit geval zou moeten waarnemen is dat de rotatieassen relatief vaak parallel (ze maken een hoek met elkaar van ongeveer  $0^\circ$ ) of juist antiparallel staan (de hoek is dan ongeveer  $180^\circ$ ). Het is echter niet noodzakelijk dat voor bottom-up modellen een dergelijke korrelatie ook werkelijk bestaat. Dit hangt ervan af of een dubbel sterrenstelsel tijdens de vorming ook inderdaad geïsoleerd was van zijn omgeving. Is dit niet het geval dan wordt de korrelatie verstoord door de invloed van andere sterrenstelsels in de buurt.

Een aantal onderzoekers hebben eerder naar dubbele stelsels gekeken om te zien of er een korrelatie tussen de oriëntatie van de rotatieassen van de twee stelsels bestaat. In de meeste van deze studies is echter niet gekeken naar de stand van de rotatieassen zelf, maar naar een projectie hiervan. Door alleen hiernaar te kijken kan de stand van de rotatieas niet eenduidig worden bepaald. Voor elk stelsel zijn er nog verschillende mogelijkheden voor de stand van de rotatieas die, als het aan de hemel wordt geprojecteerd, alle hetzelfde beeld opleveren. Het resultaat van dergelijke studies is dat er meestal geen, of hoogstens zeer zwakke, aanwijzingen worden gevonden voor een korrelatie tussen de twee stelsels. Wel zijn er aanwijzingen gevonden dat paren die beter geïsoleerd zijn van hun omgeving zich iets anders gedragen dan paren waarvoor dit niet het geval is. Het is dus belangrijk om vooral die paren te bestuderen die goed geïsoleerd zijn van hun omgeving. In het uitzoeken van geschikte paren voor dit onderzoek is geprobeerd hier rekening mee te houden (hoofdstuk 2). Een probleem hierbij is echter dat paren die op dit moment geïsoleerd lijken, dit niet geweest hoeven te zijn op het moment dat de stelsels zich vormden. Een ander probleem is dat voor ieder paar niet exact vastgesteld kan worden of dit inderdaad een echt dubbelstelsel is of dat het twee sterrenstelsels zijn die, aan de hemel gezien bij elkaar in de buurt staan, maar in werkelijkheid ver van elkaar verwijderd zijn. In hoofdstuk 2 wordt geschat dat ongeveer 10% van de paren die in dit proefschrift worden gebruikt geen echte dubbele sterrenstelsels zijn.

Wanneer men zich uitsluitend tot spiraalstelsels beperkt, is het mogelijk om de werkelijke stand van de rotatieas van zo'n stelsel te bepalen in plaats van een projectie hiervan. De stand van de twee rotatieassen ten opzichte van elkaar kan hierdoor eenduidig worden bepaald. Dit vereist uiteraard wel dat voor elk stelsel meer informatie gebruikt moet worden dan gebruikt is in de eerder genoemde onderzoeken, waarin alleen de projectie van de rotatieas gebruikt werd. Een belangrijk deel van dit proefschrift is besteed aan het verkrijgen van deze extra informatie voor een groot aantal dubbele spiraalstelsels. Dit is beschreven in de hoofdstukken 3 en 4. Eén van de dingen die we moeten weten om de werkelijke stand van de rotatieas voor elk stelsel te kunnen bepalen is de draairichting van het stelsel. Deze kan worden bepaald met behulp van waarnemingen van het neutraal waterstofgas in de stelsels. Spiraalstelsels bevatten grote hoeveelheden van dit gas. Neutraal waterstofgas heeft de eigenschap dat het radiostraling uitzendt van een zeer karakteristieke golflengte nl. 21 cm. Deze radiostraling kan met behulp van radioteleskopen worden gemeten. Voor de metingen beschreven in dit proefschrift zijn de radioteleskopen in Arecibo op Puerto Rico in de Verenigde Staten en de Westerbork Synthese RadioTeleskoop (WSRT) in Nederland

gebruikt. De draairichting van een spiraalstelsel kan worden bepaald door gebruik te maken van het Doppler-effekt. Door dit effect wordt de golflengte van de straling die wordt uitgezonden door een bepaald objekt langer wanneer dit objekt zich van ons af beweegt en korter wanneer het zich naar ons toe beweegt. Door nu de waargenomen golflengte van het neutraal waterstofgas voor een spiraalstelsel in kaart te brengen, kan de draairichting van zo'n stelsel worden bepaald. Deze metingen kunnen ook worden gebruikt om te bepalen hoe snel een spiraalstelsel roteert. Dit kan worden gedaan door te kijken naar het verschil tussen de grootste en de kleinste golflengte die het stelsel uitzendt. Door het gemiddelde uit te rekenen van alle uitgezonden golflengten kan de algehele beweging van een stelsel, ten opzichte van ons, worden bepaald. Door dit laatste voor beide stelsels van een paar te doen, kan men een indruk krijgen van de beweging van de stelsels om elkaar heen.

In één eerder onderzoek is gebruik gemaakt van deze extra informatie om de werkelijke oriëntatie van de rotatieassen te bepalen voor een dertigtal dubbele spiraalstelsels. Het resultaat van dit onderzoek was dat er een sterke korrelatie bestaat tussen beide stelsels. Er werd gevonden dat de hoek tussen de twee rotatieassen vrijwel nooit kleiner is dan  $60^\circ$ , d.w.z. dat er vrijwel geen paren voorkomen waarvan de rotatieassen van de twee stelsels vrijwel parallel staan. Dat er een korrelatie lijkt te bestaan, zou kunnen betekenen dat de vorming van sterrenstelsels gaat volgens een bottom-up model. Echter, volgens zulke modellen wordt een dergelijk tekort aan parallelle rotatieassen niet verwacht. Sterker nog, het resultaat van dit onderzoek kan niet echt goed begrepen worden in het kader van de huidige bottom-up modellen. Deze modellen zouden enige aanpassing behoeven. Het resultaat betekent ook dat de paren op het moment van de vorming van sterrenstelsels redelijk geïsoleerde systemen zijn.

In hoofdstuk 5 van dit proefschrift worden de metingen, die beschreven zijn in de hoofdstukken 3 en 4, gebruikt om eenzelfde analyse te doen voor 40 dubbele spiraalstelsels. Het resultaat hiervan is dat er géén aanwijzingen zijn dat er een korrelatie tussen de stelsels bestaat. Het resultaat van het eerder aangehaalde onderzoek, nl. dat parallelle rotatieassen vrijwel niet voorkomen, wordt niet bevestigd. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op deze, op zich tegenstrijdige, resultaten en worden argumenten gegeven dat het resultaat dat in dit hoofdstuk verkregen is, waarschijnlijk korrekt is. In het eerdere onderzoek is een bepaalde grootte gebruikt om aan te geven welke paren het meest waarschijnlijk echte, geïsoleerde paren zijn. Wat dan gevonden wordt is dat het tekort aan parallelle rotatieassen het grootst is voor die paren waarvoor het waarschijnlijker is dat dit echte paren zijn. Echter, in hoofdstuk 5 wordt beargumenteerd dat het gebruik van deze grootte voor dit doel onjuist is. Daarnaast zijn in het eerdere onderzoek een aantal paren gebruikt die lid zijn van een groep van drie of vier sterrenstelsels. Het tekort aan parallelle rotatieassen lijkt vooral voor deze paren te bestaan. Omdat in dit proefschrift geen paren zijn gebruikt die lid zijn van een groep, zou dit kunnen verklaren waarom in dit proefschrift geen tekort aan paren met parallelle rotatieassen wordt gevonden. In hoofdstuk 5 wordt nagegaan of het verschil tussen geïsoleerde paren en paren in groepen een gevolg kan zijn van het verschijnsel dat sterrenstelsels samen kunnen smelten tot één sterrenstelsel. De kans dat dit gebeurt is voor paren met parallelle rotatieassen groter dan wanneer

dit niet het geval is voor sterrenstelsels. (C) Het is dus mogelijk dat eerdere onderzoeken maar veroorzaakt worden. In het licht van v... betekent het resul... de stelsels zich v... Deze mogelijkheden... metingen omtrent... dit hoofdstuk wor... van de stelsels zel... te maken over en... paren hun gehele... verwachten dat de... met de rotatie van... de rotatie van de... dan de rotatie van... paren, op het mor... geweest. Dit betel... geen korrelatie tuss... het in hoofdstuk 5... Het is in principe... voor dit onderzoek... wél vergelijkbaar g... zou dan het result... wordt dit verder n... kleine invloed heeft... stand van de rotati... verstorende invloed... modellen, voor zove... overeenstemming zi...

bepaald door gebruik te  
 mte van de straling die  
 objekt zich van ons af  
 or nu de waargenomen  
 n kaart te brengen, kan  
 en kunnen ook worden  
 Dit kan worden gedaan  
 inste golflengte die het  
 uitgezonden golflengten  
 , worden bepaald. Door  
 een indruk krijgen van

ormatie om de werkelijke  
 dubbele spiraalstelsels.  
 orrelatie bestaat tussen  
 twee rotatieassen vrijwel  
 voorkomen waarvan de  
 t er een korrelatie lijkt  
 renstelsels gaat volgens  
 een dergelijk tekort aan  
 at van dit onderzoek kan  
 ge bottom-up modellen.  
 taat betekent ook dat de  
 elijk geïsoleerde systemen

die beschreven zijn in  
 e doen voor 40 dubbele  
 rijzingen zijn dat er een  
 het eerder aangehaalde  
 en, wordt niet bevestigd.  
 ige, resultaten en worden  
 erkregen is, waarschijnlijk  
 heid gebruikt om aan te  
 rde paren zijn. Wat dan  
 n het grootst is voor die  
 zijn. Echter, in hoofdstuk  
 d voor dit doel onjuist is.  
 bruikt die lid zijn van een  
 lle rotatieassen lijkt vooral  
 paren zijn gebruikt die lid  
 lit proefschrift geen tekort  
 oofdstuk 5 wordt nagegaan  
 en een gevolg kan zijn van  
 tot één sterrenstelsel. De  
 assen groter dan wanneer

dit niet het geval is en is ook groter wanneer een paar lid is van een grotere groep sterrenstelsels. Gevonden wordt dat deze mogelijkheid niet uitgesloten kan worden. Het is dus mogelijk dat het tekort aan paren met parallelle rotatieassen wat in het eerdere onderzoek gevonden is, niets te maken heeft met de vorming van sterrenstelsels, maar veroorzaakt is door processen die zich na de vorming hebben afgespeeld.

In het licht van wat eerder in deze samenvatting is gezegd over bottom-up modellen betekent het resultaat van hoofdstuk 5 dat de onderzochte paren, op het moment dat de stelsels zich vormden, niet voldoende van hun omgeving geïsoleerd zijn geweest. Deze mogelijkheid wordt verder onderzocht in hoofdstuk 6 aan de hand van de metingen omtrent de bewegingen van de sterrenstelsels uit de hoofdstukken 3 en 4. In dit hoofdstuk wordt de rotatie van de twee stelsels om elkaar, vergeleken met de rotatie van de stelsels zelf. Om dit te kunnen doen is het wel nodig om bepaalde aannamen te maken over enkele eigenschappen van de donkere materie. Als de onderzochte paren hun gehele bestaan geïsoleerd zouden zijn geweest van hun omgeving, zou men verwachten dat de rotatie van de stelsels om elkaar heen vergelijkbaar in grootte is met de rotatie van de stelsels zelf. Wat in hoofdstuk 6 echter gevonden wordt is dat de rotatie van de stelsels om elkaar heen, gemiddeld ongeveer een faktor 4 groter is dan de rotatie van de stelsels zelf. Hieruit mag worden afgeleid dat de onderzochte paren, op het moment dat de stelsels zich vormden, niet voldoende geïsoleerd zijn geweest. Dit betekent dat men in bottom-up modellen voor dubbele sterrenstelsels geen korrelatie tussen de stand van de rotatieassen verwacht. Het suggereert ook dat het in hoofdstuk 5 verkregen resultaat korrekt is.

Het is in principe mogelijk dat door de procedure, die gevolgd is om geschikte paren voor dit onderzoek te vinden, onbewust die paren waarvoor de rotatie om elkaar heen wél vergelijkbaar groot is met de rotatie van de stelsels zelf, weggelaten zijn. Dit zou dan het resultaat van hoofdstuk 6 beïnvloed kunnen hebben. In hoofdstuk 6 wordt dit verder nagegaan en wordt gevonden dat de selectieprocedure slechts een kleine invloed heeft. De konklusie is dan ook dat er geen korrelatie bestaat tussen de stand van de rotatieassen in dubbele spiraalstelsels. Dit is waarschijnlijk te wijten aan verstorende invloeden van omringende stelsels. Dit betekent dat de huidige bottom-up modellen, voor zover het de herkomst van de rotatie van sterrenstelsels betreft, wel in overeenstemming zijn met de waarnemingen.