

DE MASSA EN STABILITEIT VAN SPIRAALSTELSELS

1. Jacobus Cornelius Kapteyn (1851 – 1922)



J.C. Kapteyn studeerde wiskunde en natuurkunde in Utrecht.

Hij werd in 1878 benoemd tot hoogleraar in de sterrenkunde en theoretische mechanica.

Deze leerstoel was het gevolg van de wet op het hoger onderwijs van 1876.

De Nederlandse sterrenkunde was middelmatig met twee sterrenwachten in Leiden en Utrecht, die veel energie staken in elkaar beconcurreren.

Ze waren eensgezind in het dwarsbomen van Kapteyns plannen voor een sterrenwacht in Groningen.

Kapteyn kreeg ook lang weinig steun van de Groningse universiteit en hij heeft vele jaren onderdak gehad bij het **Physiologisch Laboratorium**.

Pas in 1896 kreeg hij zijn eigen **Astronomisch Laboratorium**, later naar hem vernoemd, maar dat kreeg pas in 1913 de definitieve lokatie aan de **Broerstraat**.

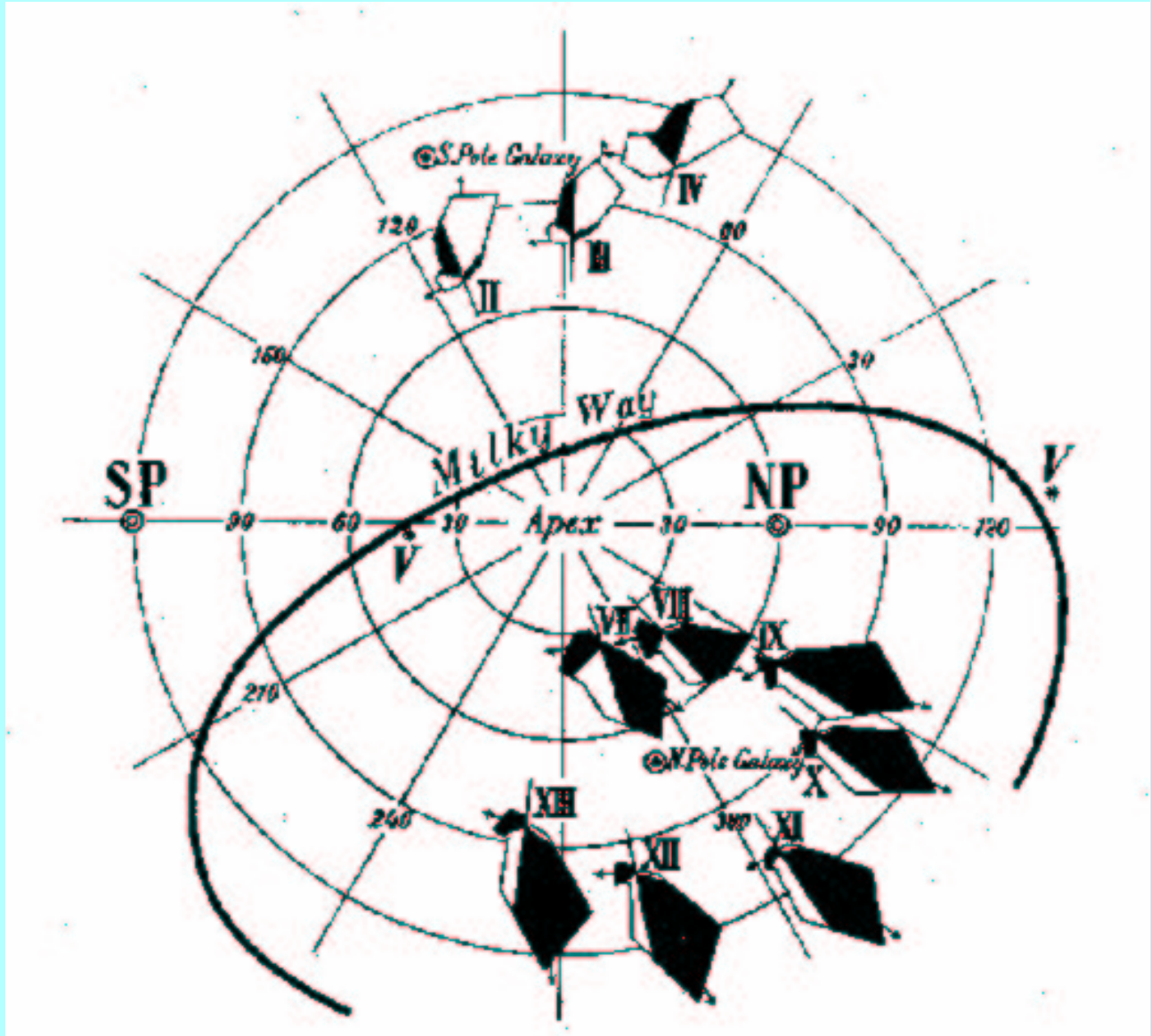


Kapteyn mat fotografische platen van anderen uit. Eerst van de zuidelijke hemel met platen van **David Gill** van de Kaap sterrenwacht.

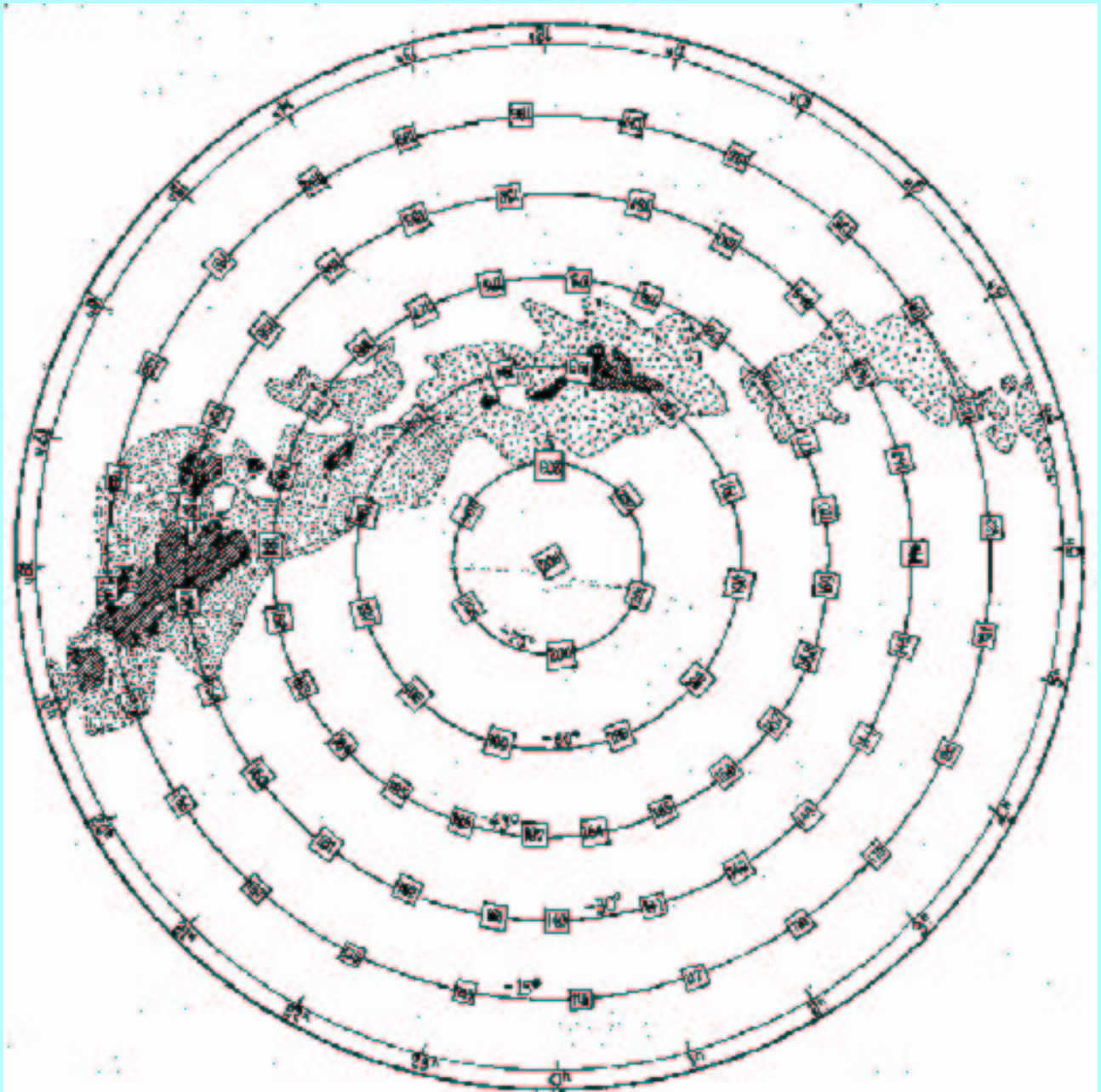
Dit resulteerde in de **Cape Photographic Durchmusterung** met posities en helderheden van ruim 450.000 sterren, die in 1900 voltooid werd.

Zijn werk spitste zich toe op de bepaling van de structuur van het **sterrenstelsel**; de ruimtelijke verdeling van sterren uit stertellingen. Hij ontwikkelde daar de noodzakelijke methoden voor.

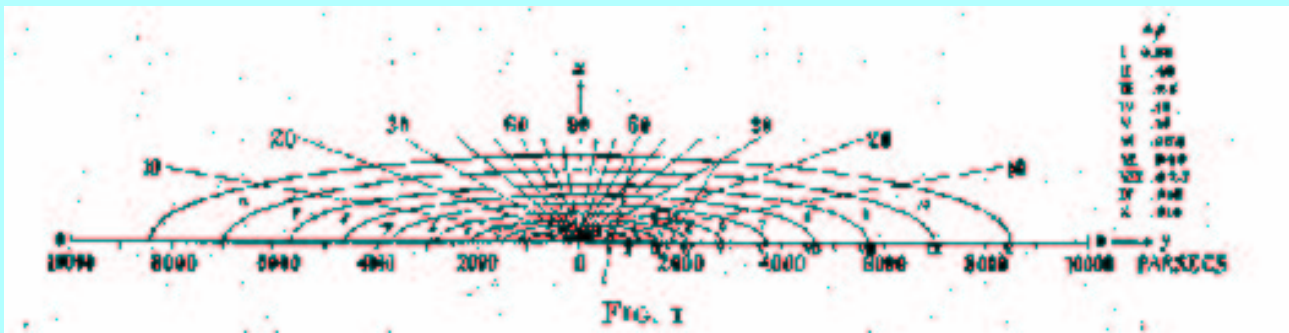
Ook onderzocht hij de ruimtelijke bewegingen uit de bewegingen aan de hemel en vond de "Star Streams".



Hij organiseerde het **Plan of Selected Areas** en ontwikkelde zo een samenwerking tussen astronomische instituten over de gehele wereld.



Vlak voor zijn dood in 1912 publiceerde hij een model van de ruimtelijke verdeling van de sterren en ontwikkelde hij een dynamische theorie (het "Kapteyn Model").



Het Kapteyn Model bleek onjuist, omdat hij **interstellaire absorptie** had verwaarloosd en dat wordt nogal eens tegen hem gehouden.

Maar Kapteyn had naar die mogelijkheid diverse onderzoeken gedaan (o.a. bedacht dat het het sterlicht zou moeten **verroden**), maar geen aanwijzingen kunnen vinden.

De **vertikale** verdeling was echter behoorlijk goed, evenals zijn dynamische schatting van de **massadichtheid** in de zonsomgeving.

Kapteyn had verder een aantal zeer prominente studenten, waaronder **de Sitter**, **van Rhijn** en **Oort**. **Blaauw** was weer een student van van Rhijn.

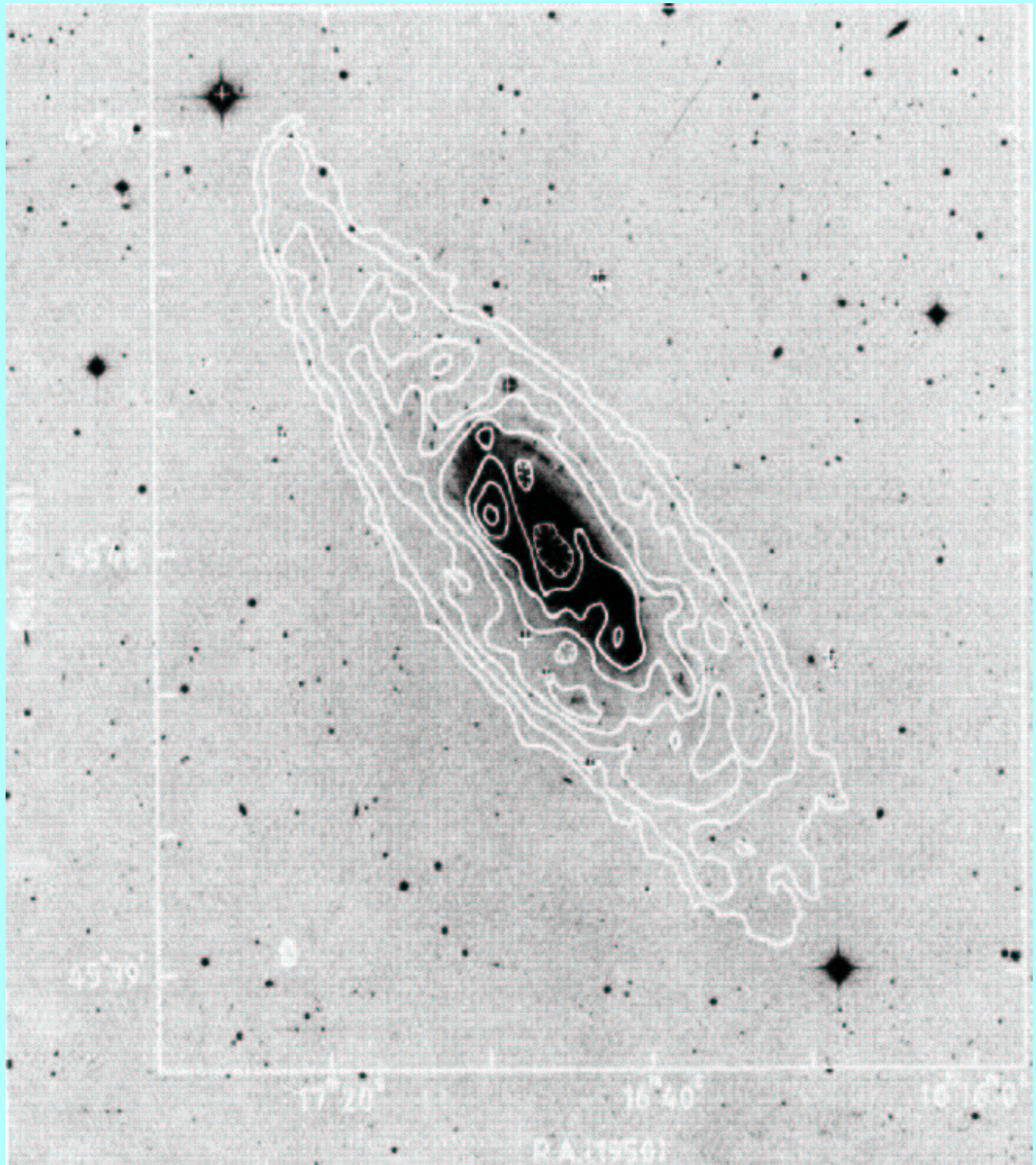
Met Kapteyn begon de bloei van de Nederlandse sterrenkunde.

2. Schijven van spiraalstelsels

Spiraalstelsels zijn melkwegstelsels, die een duidelijke **schijf component** hebben, waarin **ster-
vorming** optreedt in de spiraalarmen.



In **neutrale waterstof** blijken deze schijven zich vaak veel verder uit te strekken.



In deze buitendelen kunnen we de rotatie meten met behulp van de zogenaamde **21-cm lijn** van waterstof, met name in **Westerbork**.

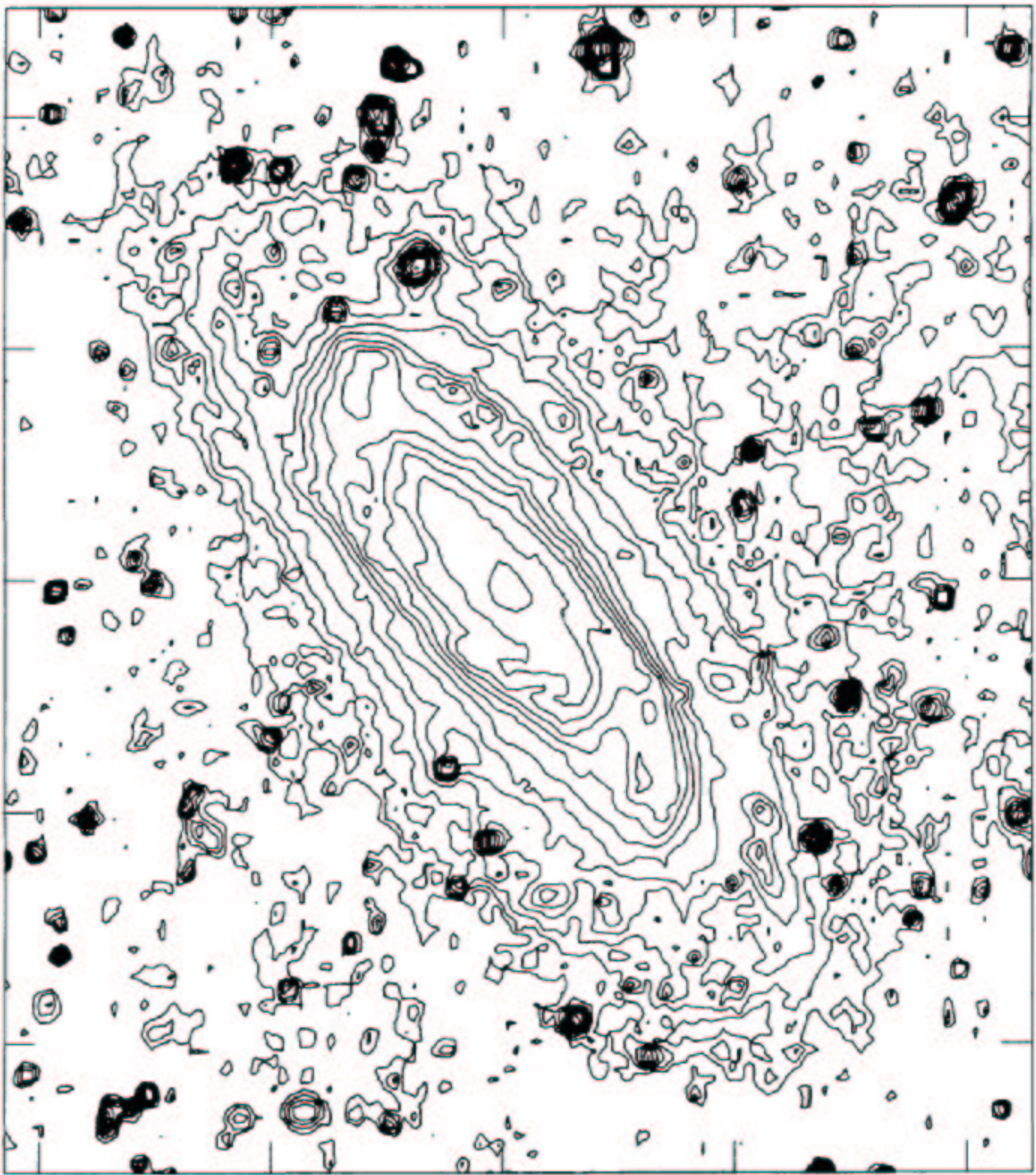
Dan blijkt, dat de buitendelen eenzelfde **rotatiesnelheid** hebben als de binnendelen. Dit heet een **vlakke rotatiekromme** en duidt op **donkere materie**.

Dit is begin jaren zeventig gevonden en er is veel werk aan gedaan door astronomen van het Kapteyn Instituut, vooral onder leiding van mijn collega's **Tjeerd van Albada** en **Renzo Sancisi**.

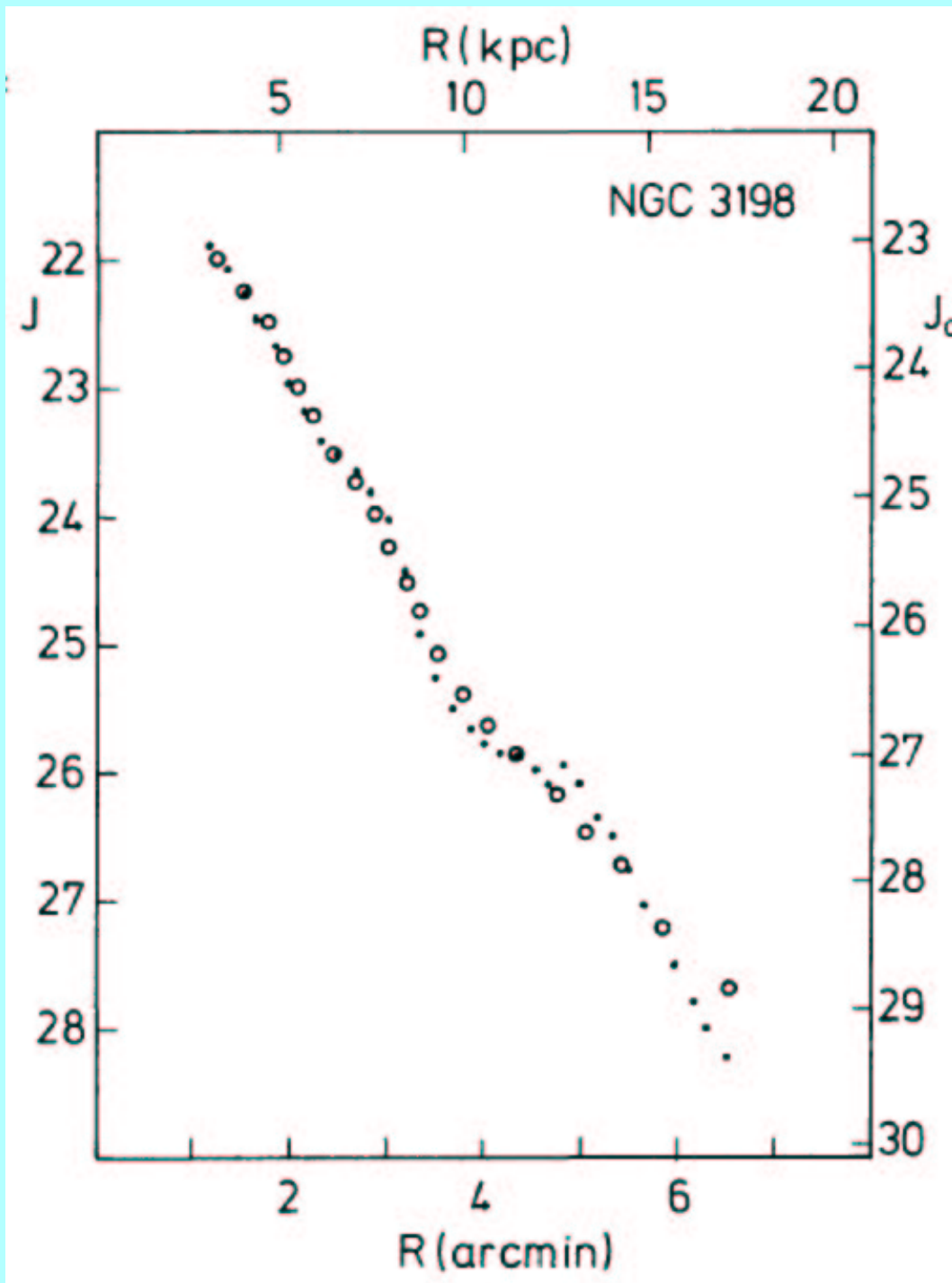
Je kunt de waargenomen rotatie vergelijken met de verwachte rotatie als je aanneemt, dat de materie net zo verdeeld is als het sterlicht.

Daarom ben ik me eind jaren zeventig gaan toeleggen op **fotografische oppervlaktefotometrie**.

Daarbij meet je op de fotografische plaat hoe donker deze overal is geworden en je vertaalt dat dan in een verdeling van **oppervlaktehelderheid**.



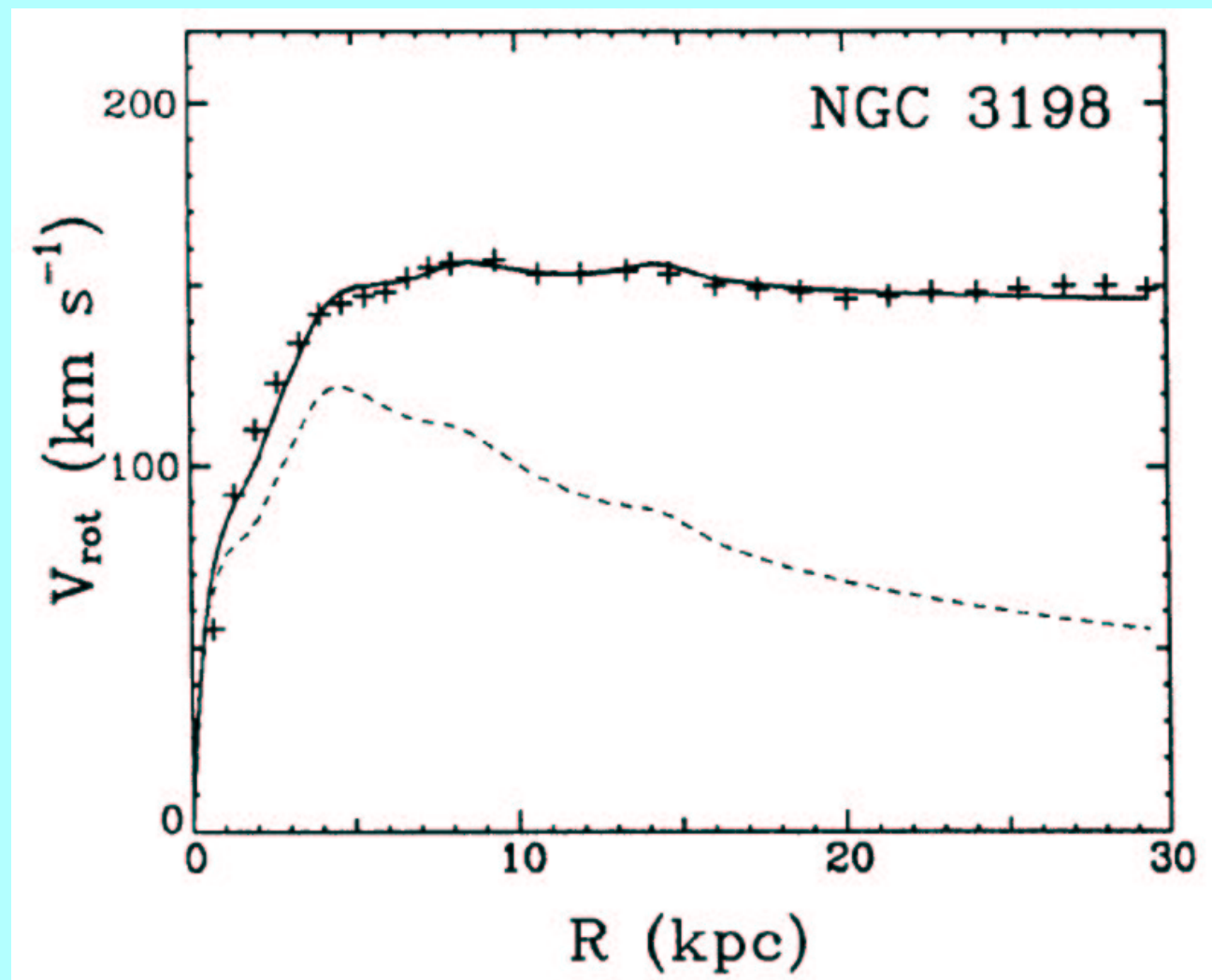
Daaruit kun je het **helderheidsprofiel** (oppervlaktehelderheid als functie van de afstand tot het centrum) bepalen.



Hier zien we dat van binnen naar buiten toe de schijf enkele honderden keren zwakker is geworden.

Je kunt dan aannemen, dat de verdeling van de materie en die van het sterlicht overal hetzelfde is. Dan heb je een **constante verhouding van massa M en licht L** , die we als M/L schrijven.

Met deze aanname kun je dan uitrekenen hoe de rotatiekromme er zou uitzien als er alleen de schijf zou zijn.



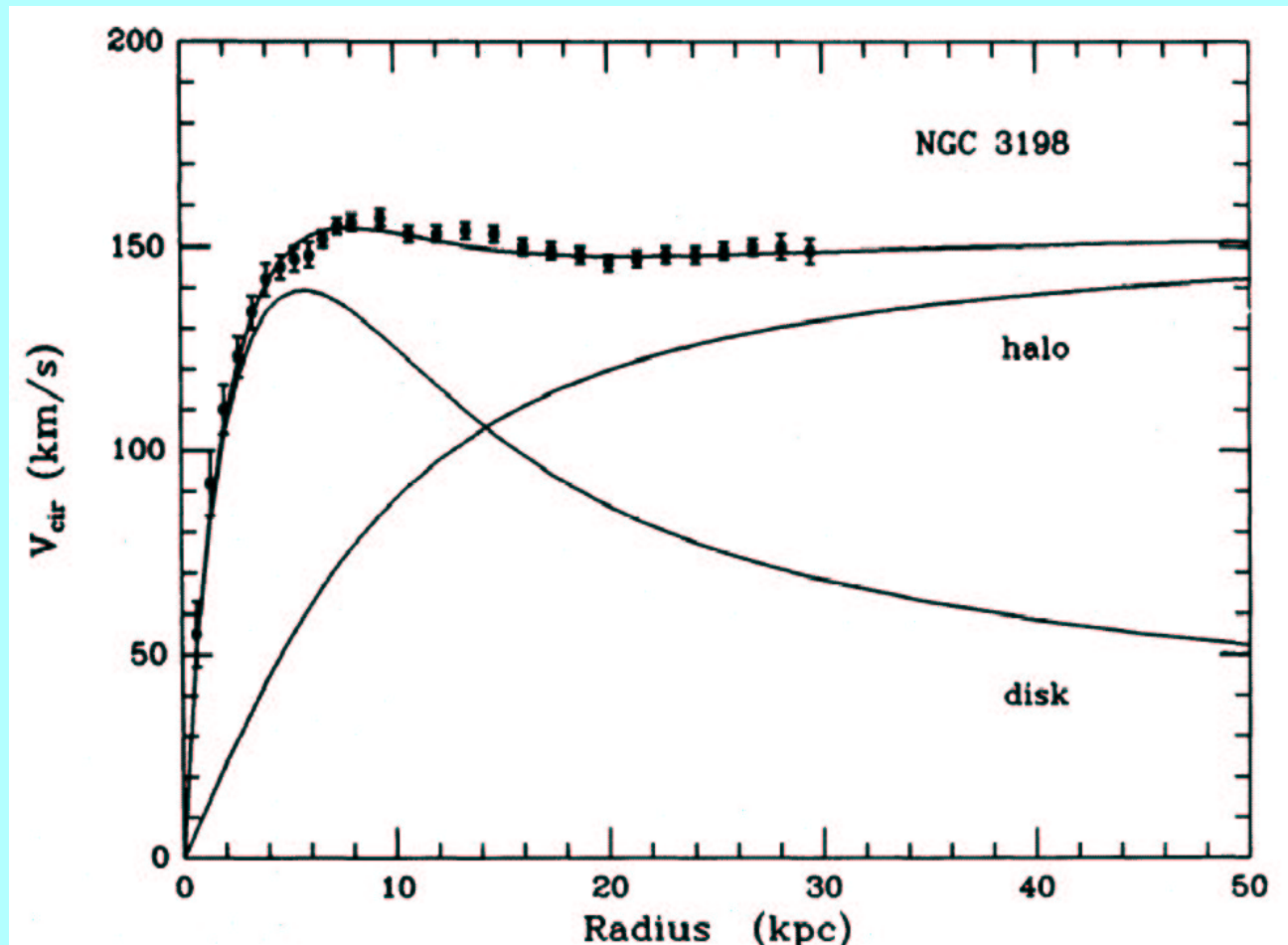
We zien dan, dat er in de buitendelen van de stelsels zogenaamde **donkere materie** moet zijn, want als de materie verdeeld zou zijn als het sterlicht, dan zouden de rotatiekrommen moeten afnemen op grotere afstand.

We weten inmiddels, dat die donkere materie zich in een bolvormige structuur bevindt, de **donkere halo**. **Wat** de donkere materie is, weten we niet.

De **dichtheid** in de halo is evenredig met R^{-2} en de totale massa met R . Minstens **90%** van de massa in een stelsel is donker.

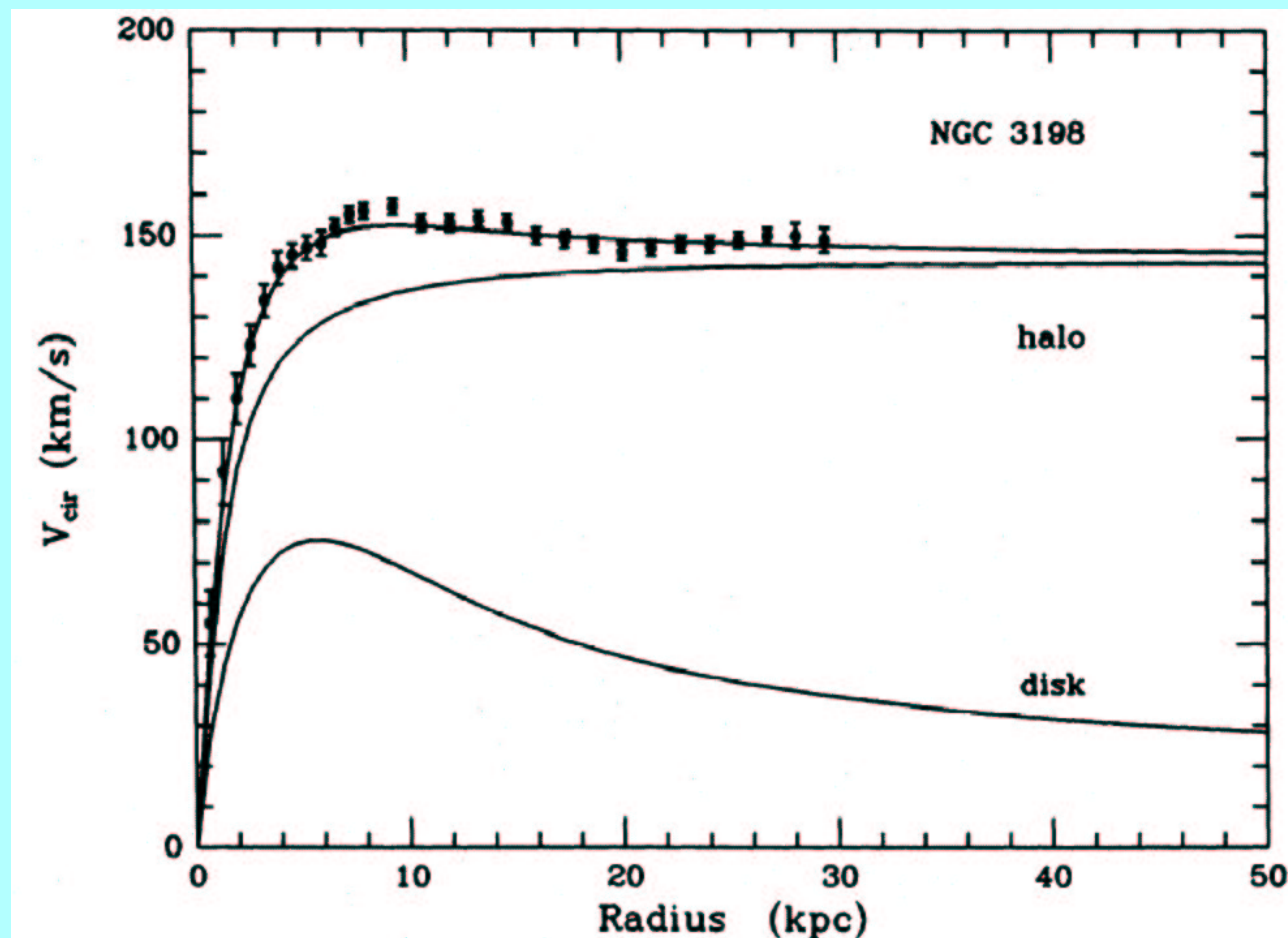
Echter, je weet niet welke **waarde** M/L heeft en dus weet je wel de **vorm** van de rotatiekromme als er alleen een schijf was geweest, maar niet de **amplitude** (hoogte).

Het zou bijvoorbeeld zo kunnen zijn:



Deze oplossing heet de **maximum disk** en dit is voorgesteld door **Tjeerd van Albada**, **John Bahcall**, **Kor Begeman** en **Renzo Sancisi**.

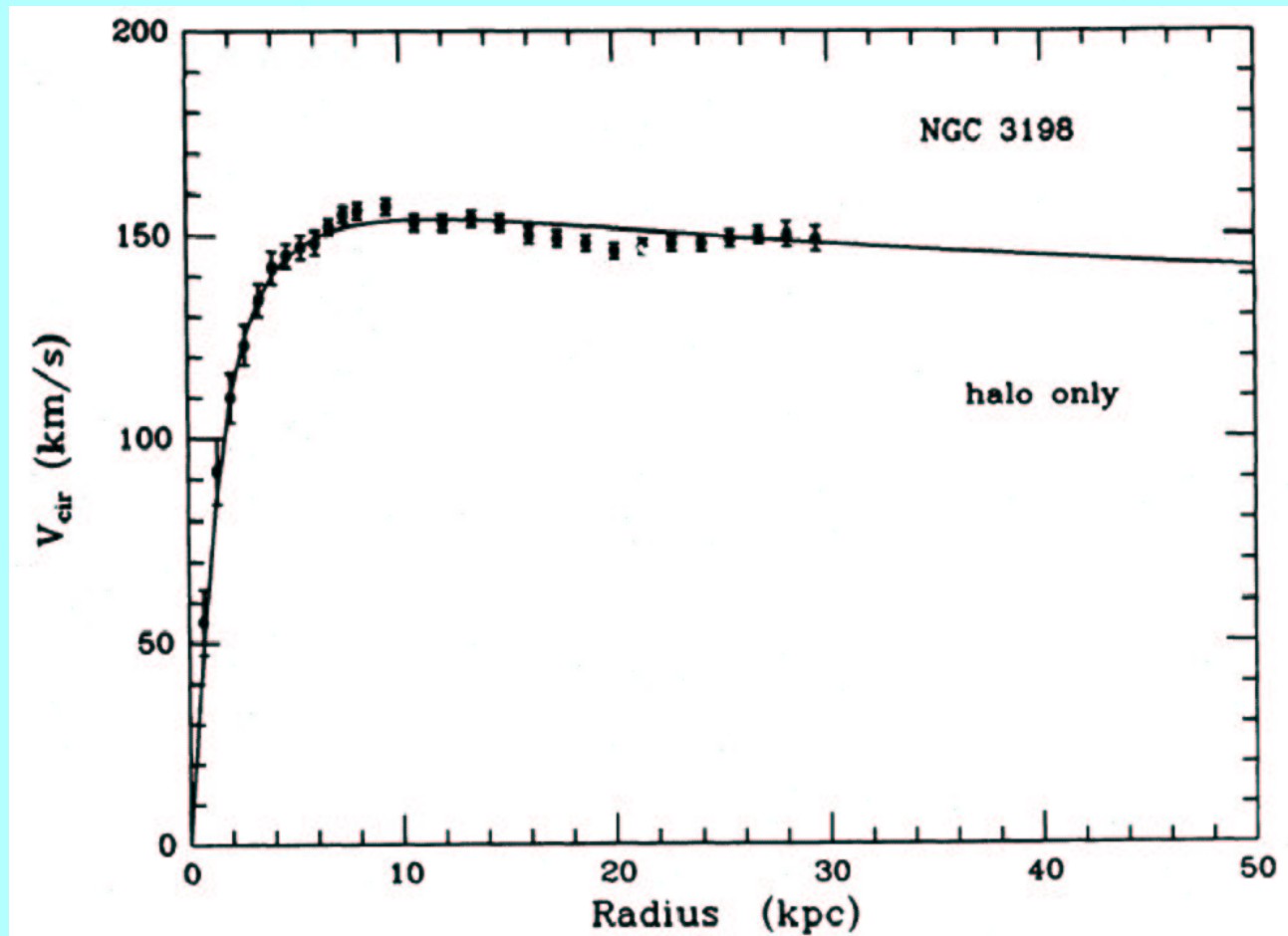
Maar het zou natuurlijk ook kunnen zijn zoals hieronder, zoals Tjeerd en zijn medewerkers hebben laten zien.



Dan is er dus minder materie in de schijf en meer in de halo.

Het kan zelfs zo zijn, dat de massa in de schijf verwaarloosbaar klein is.

Dit is echter niet erg waarschijnlijk.



De kunst is dus om op een onafhankelijke wijze te meten wat de verdeling van materie is, of wat de waarde van M/L is.

Rond 1980 heb ik met een collega in de V.S., **Leonard Searle**, gewerkt oppervlaktefotometrie van schijven op hun kant.

Surface Photometry of Edge-on Spiral Galaxies

I. A Model for the Three-dimensional Distribution of Light in Galactic Disks*

P. C. van der Kruit¹ and L. Searle²

Surface Photometry of Edge-on Spiral Galaxies

II. The Distribution of Light and Colour in the Disk and Spheroid of NGC 891*

P. C. van der Kruit¹ and L. Searle²

Surface Photometry of Edge-on Spiral Galaxies

III. Properties of the Three-dimensional Distribution of Light and Mass in Disks of Spiral Galaxies*

P. C. van der Kruit¹ and L. Searle²

Surface Photometry of Edge-on Spiral Galaxies*

IV. The Distribution of Light, Colour, and Mass in the Disk and Spheroid of NGC 7814**

P. C. van der Kruit¹ and L. Searle²

* The order of the authors' names in this series of papers has been decided in each case by tossing a coin. The coin used for this purpose is fully described in a forthcoming monograph "The van der Kruitguilder" by P. C. van der Kruit and L. Searle to be published in the series "Curiosités Numismatiques", Monte Carlo

De voetnote bij het vierde artikel gaf aanleiding tot diverse aanvragen voor een **preprint**, die ik toen maar heb gemaakt.

THE VAN DER KRUIT GILDER

by

P.C. van der Kruit

L. Searle

Summary The van der Kruit guilder is described.

1. Introduction.

In this monograph we describe the recently discovered van der Kruit guilder.

2. Description.

The van der Kruit guilder is shown in figure 1.



Front



Back

Fig. 1.

3. Conclusion.

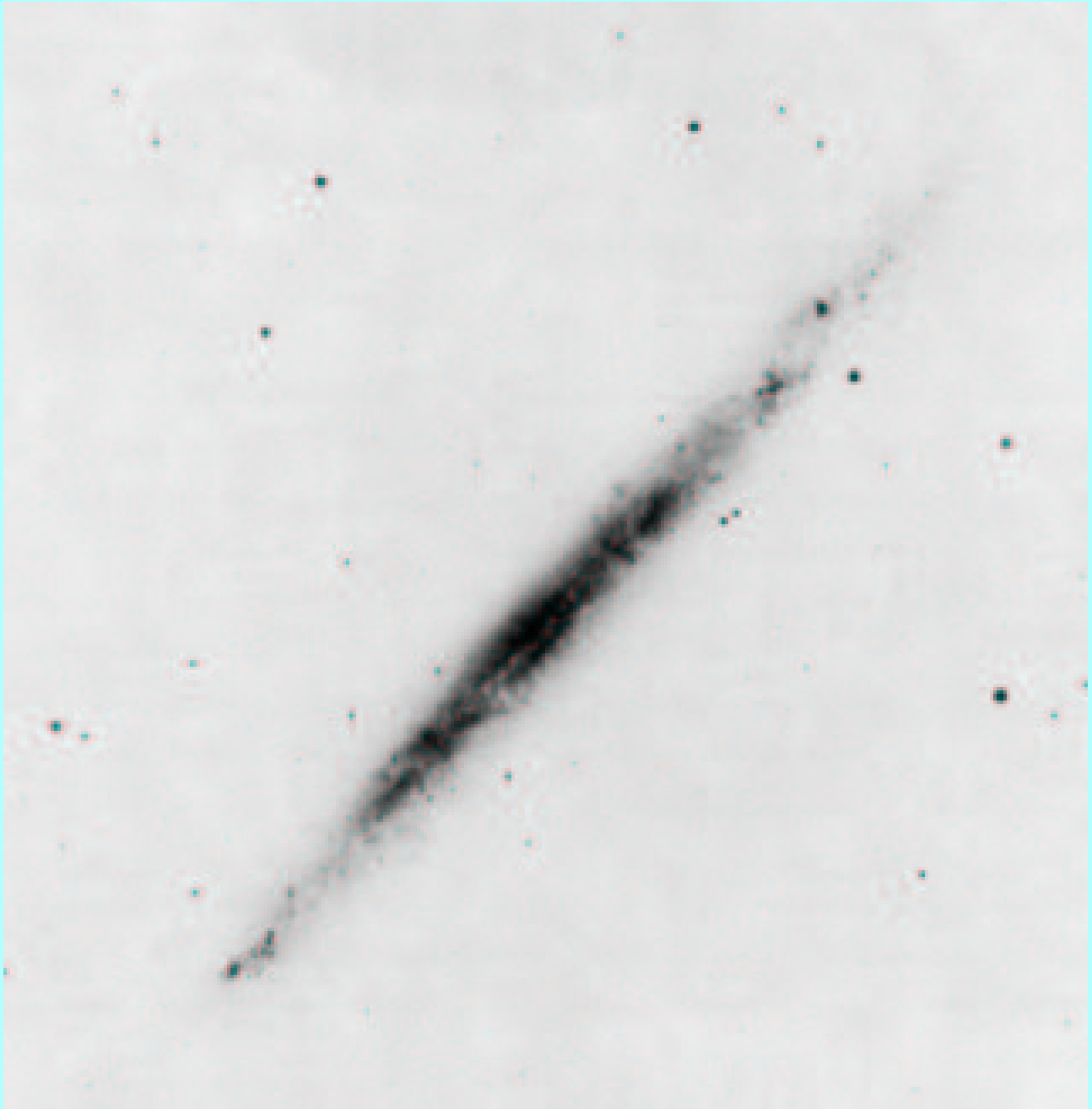
This concludes our description of the van der Kruit guilder.

Acknowledgement We thank Méta Morphose for her continued interest.

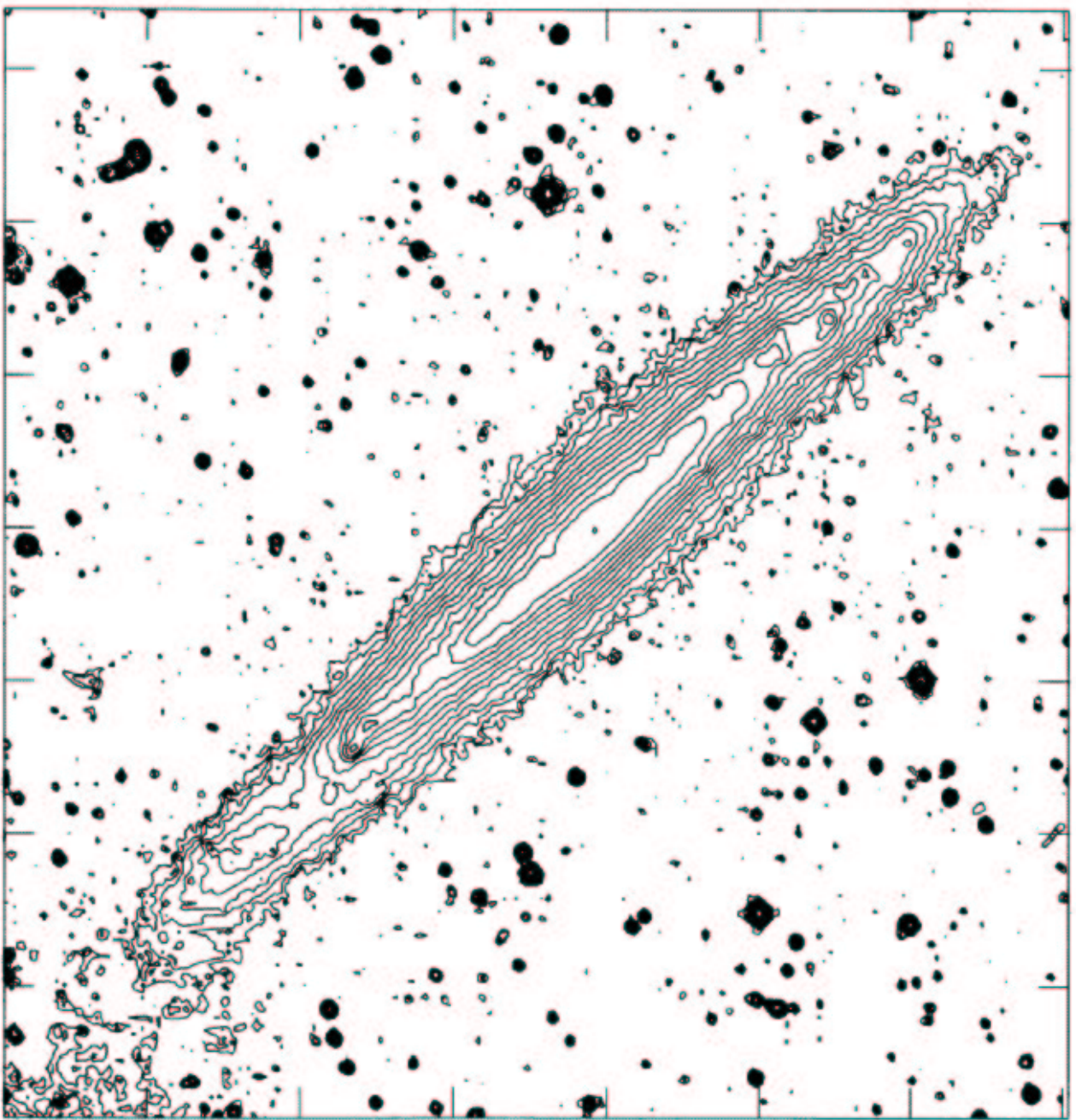
Reference

Searle, L. and van der Kruit, P.C. 1985, The Searle Shilling, Curiosités Numismatiques, Monte Carlo, No. 432.

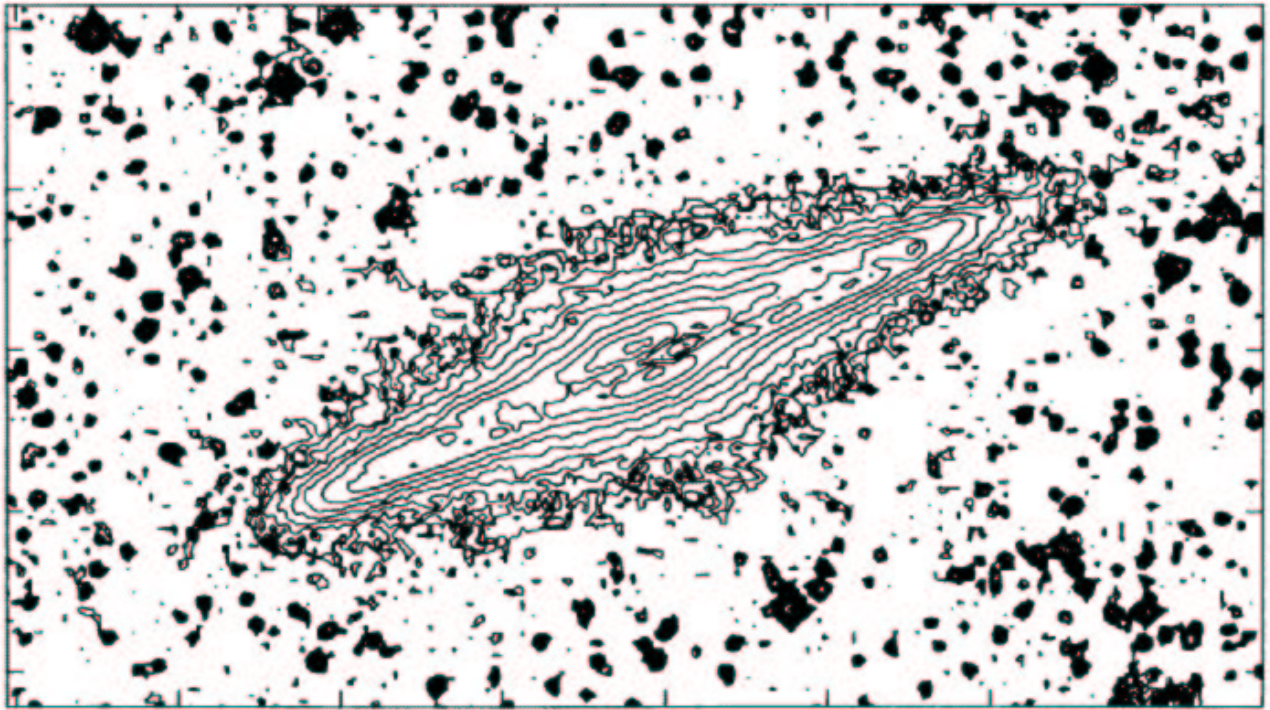
Hier is een voorbeeld van een stelsel, dat **puur schijf** is.



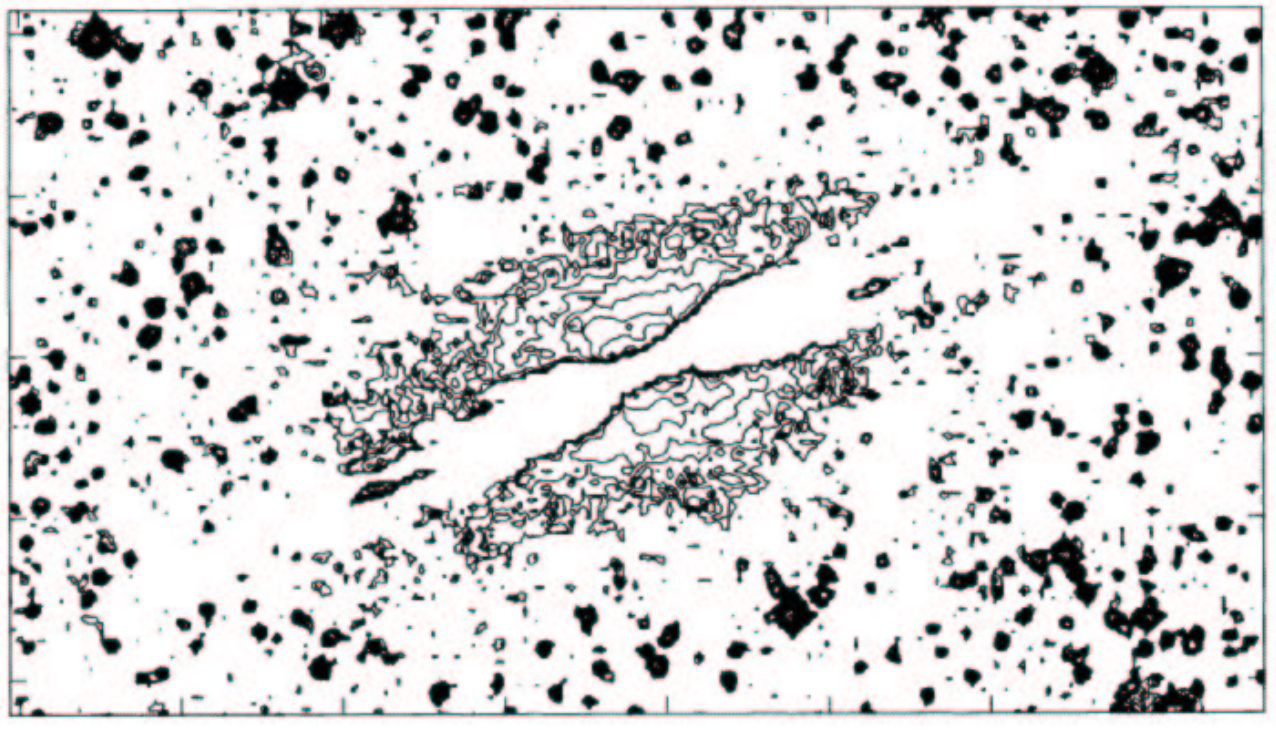
Je kunt hierin de ook helderheidsverdeling meten en daar leidden we een model af voor de **drie-dimensionale verdeling** van het sterlicht.



Je kunt dat ook doen in stelsels, die naast een schijf nog een zogenaamde **Populatie II** hebben.



Je kunt de schijf ook aftrekken van de waarnemingen en je ziet dan de verdeling van de **oudste sterren**.



We vinden dan dat de **dikte** van de sterschijf onafhankelijk is van afstand tot het centrum.

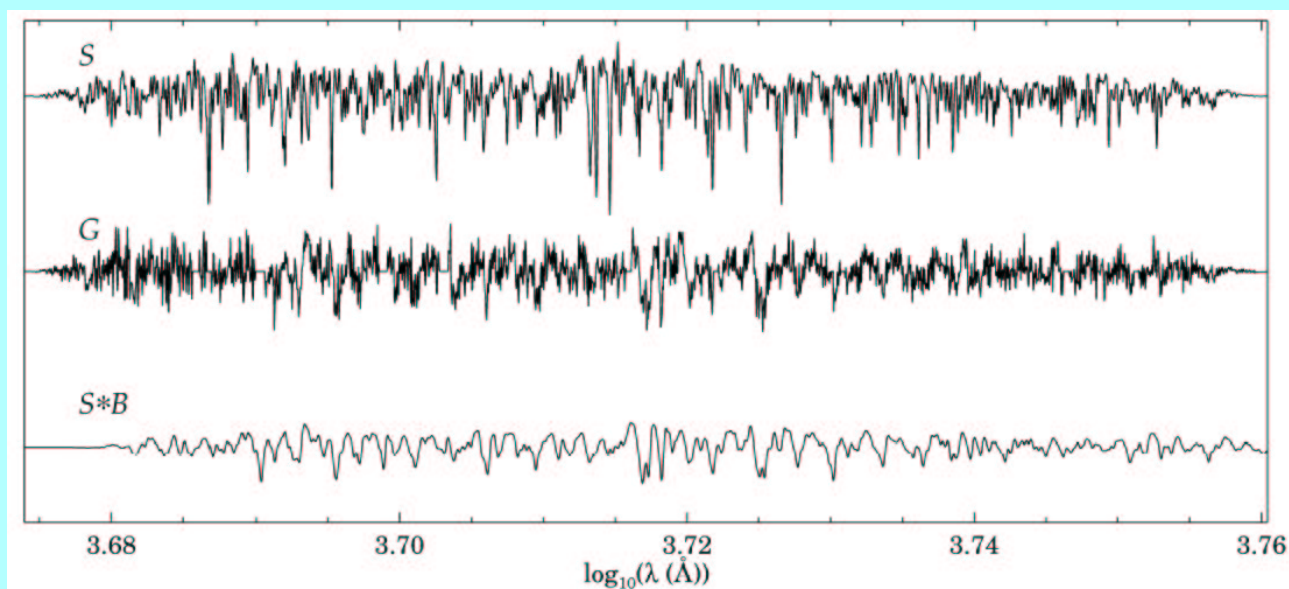
In de verticale richting bewegen de sterren door elkaar. Wie snel gaat komt verder uit het vlak en er is een heel scala aan snelheden.

De gemiddelde snelheid heet de **snelheidsdispersie** en daarmee bereik je een gemiddelde hoogte.

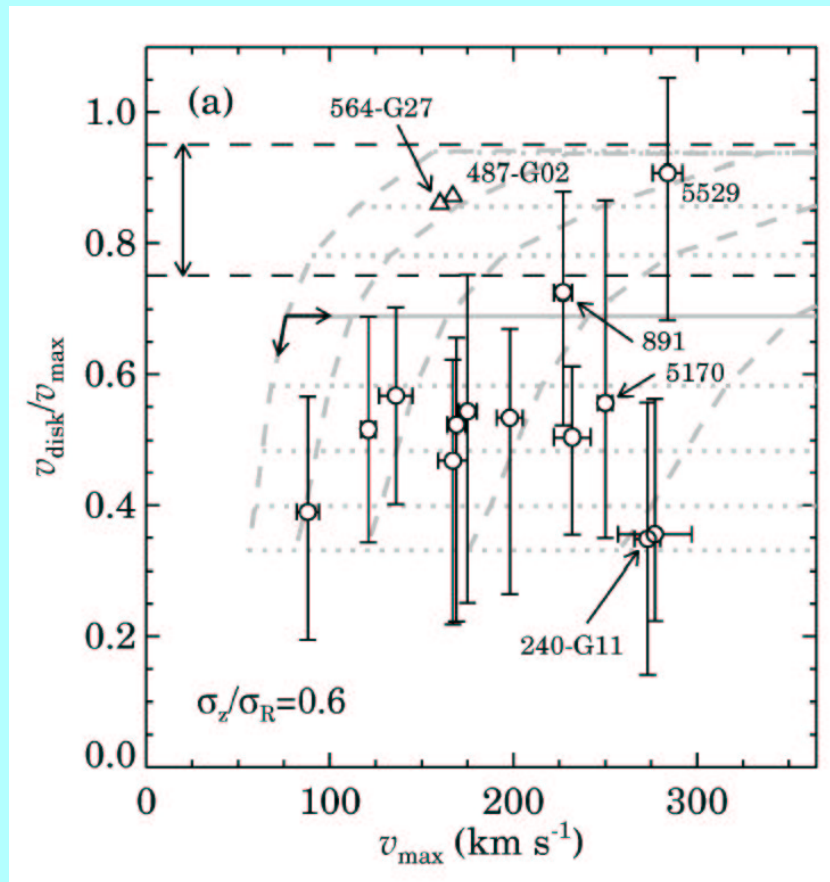
Als je die snelheidsdispersie zou zou weten, kun je uit de dikte van de schijf het **gravitatieveld** berekenen en daaruit de **oppervlakedichtheid**.

Daartoe moet je de snelheden van de sterren meten en iets te weten komen over de verhouding van snelheden in het vlak van de schijf en die loodrecht erop.

De **spectroscopie** gaat zo, dat je de **absorptielijnen** in het spectrum meet en die vergelijkt met zulke lijnen in een ster nabij de zon die typisch is voor het sterlicht van een schijf.



Hier is het meest recente resultaat, gevonden in het promotie onderzoek van **Michiel Kregel**, die een paar weken geleden is gepromoveerd.



We zien dat de schijf gemiddeld voor zo'n **50 à 60%** bijdraagt aan de grootte van de rotatie, maar soms ook bijna 100%.

Dus ook in de binnendelen van spiraalstelsels is er veelal een grote bijdrage aan de rotatie door de donkere halo.

Verder is er de kwestie van de stabiliteit. Waarom breken de schijven niet op in kleinere delen?

Dit was al een probleem voor Newton.

Het blijkt, dat op kleine schaal stabiliteit ontstaat door de onderlinge bewegingen; er is meer energie in bewegingen dan in gravitatie.

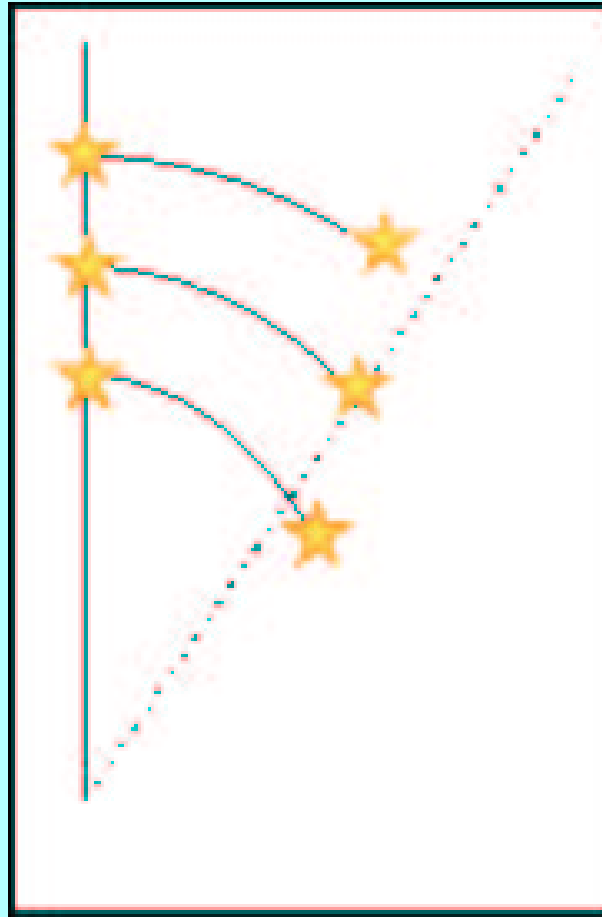
Als de afmeting groter wordt verandert deze verhouding.

Denk aan een constante dichtheid en snelheidsdispersie.

Voor een bol is de energie in beweging dan evenredig met het volume R^3 en de energie in gravitatie evenredig met $M^2/R = R^5$.

Dus er is een maximale schaal, waarop dit werkt; de zogenaamde Jeans straal.

Maar op grote schaal is er stabiliteit door de schuivende werking van de differentiële rotatie.

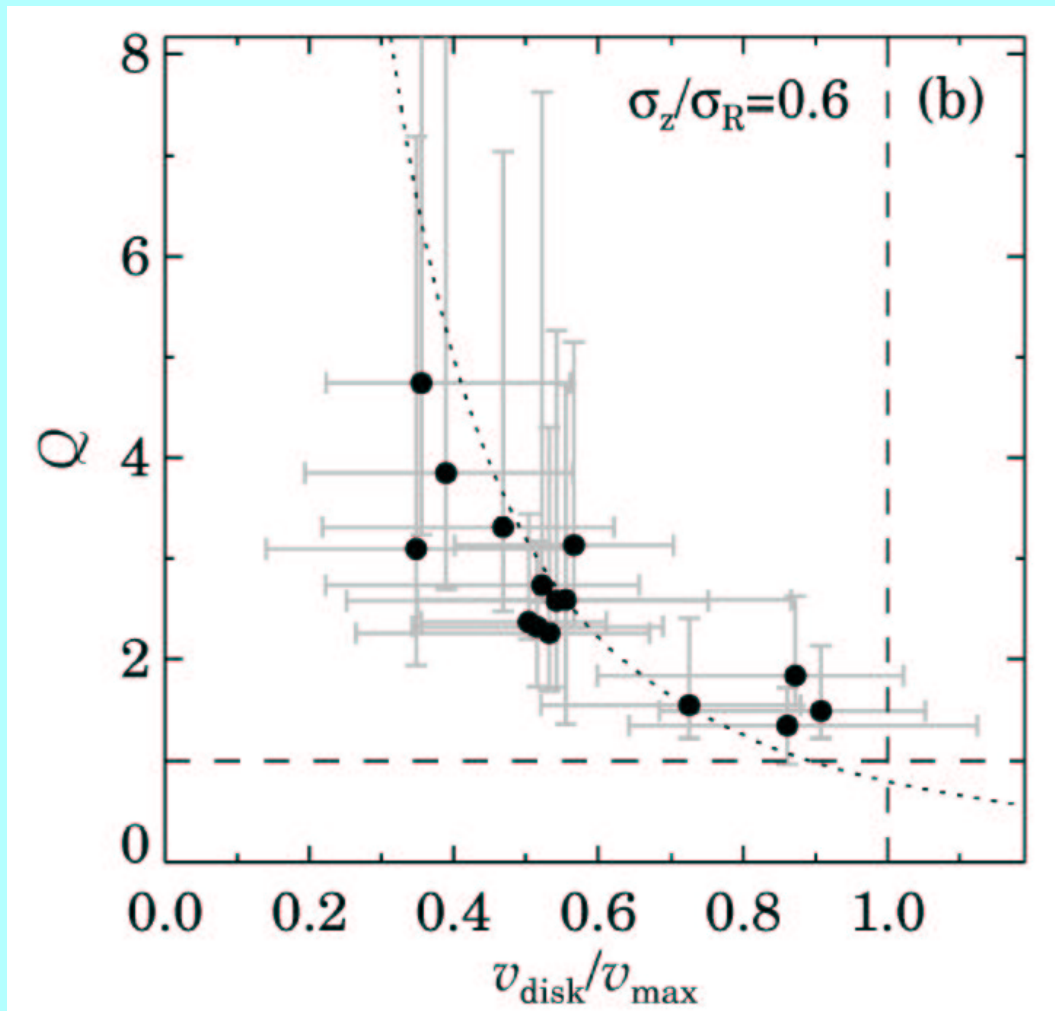


Als de parameters goed zijn zijn er dus stabiliteit zijn op alle schalen.

Het wordt samengevat in een parameter, die **Toomre Q** heet, en waarvoor je de massaverdeling in de schijf, de rotatie en de snelheidsdispersie moet weten.

Als een schijf stabiel is, dan moet **Q** waarden hebben van **1** of **een paar**.

Hier een tweede recent resultaat van Michiel Kregel.



Schijven zijn min of meer op het randje van stabiliteit.

Dit zal wel het resultaat van een zelf-regulerend mechanisme zijn.

3. The European Southern Observatory.



ESO is een organisatie van tien (spoedig elf) Europese landen.

ESO heeft op dit moment twee sterrenwachten in Chili; **La Silla** rechts en **Paranal** links.

Hier is een van de vier 8-meter telescopen van de **Very Large Telescope** op Paranal.

Samen vormen ze de grootste teleskoop ter wereld.





Samen met vier 1.8-meter telescopen op diverse stations wordt het de **VLT Interferometer**.

Dit zal het mogelijk maken details van een duizendste boogseconde aan de hemel te zien.

Het bouwen van instrumentatie voor de **VLT** en **VLTI** is thans de hoogste prioriteit voor de Nederlandse sterrenkunde en van de top-onderzoekschool NOVA.

Op de tweede plaats staat de **Atacama Large Millimeter Array, ALMA**. Deze wordt gebouwd door ESO samen met Noord-Amerika en hopelijk binnenkort Japan.

Dit is voor waarnemingen op **(sub-)millimeter** golflengten. Deze straling wordt echter geabsorbeerd door de waterdamp in de atmosfeer.

Daarom moet je naar een zeer **droge** omgeving op een **grote hoogte** en om details van een duizendste boogseconde te kunnen zien heb je een relatief **vlak** gebied nodig van **10 tot 15 kilometer** doorsnee.

Met ALMA kunnen we o.a. de stervorming heel vroeg in het heelal bestuderen.

Dat vindt je in de **Andes** in Noord-Chili nabij de grens met Bolivia en Argentinië.

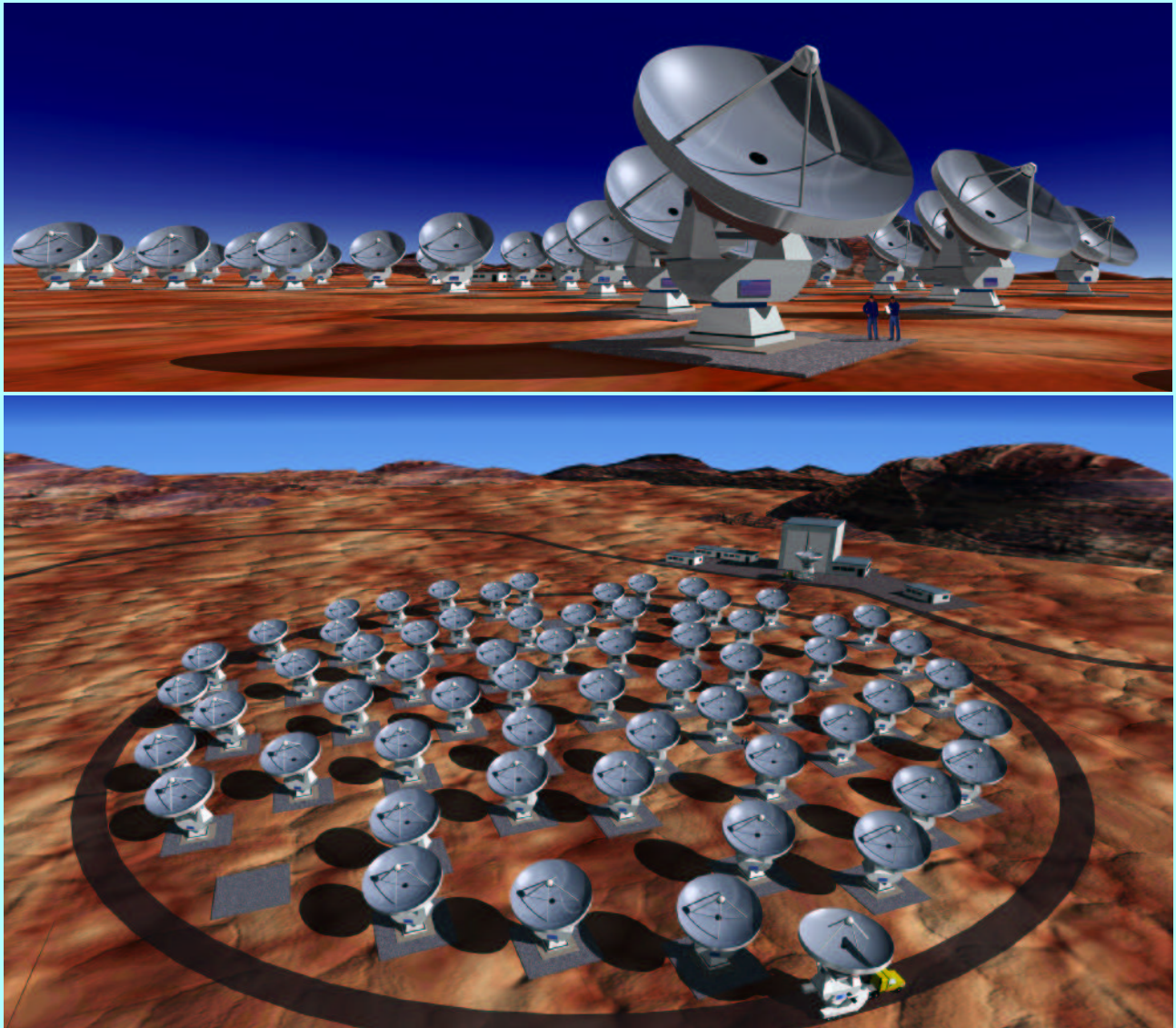
De hoogte op **Chajnantor** is **5000 meter**.



Het is er letterlijk adembenemend.



Hier komen **64 12-meter telescopen**, die over een gebied van 15 km verplaatst kunnen worden.



En als **Japan** meedoet, komen we nog meer bij.

Begin november hebben we op het tussenstation op 2900 meter met een **groundbreaking ceremony** de officiële start voor de bouw gegeven.



ALMA zal in 2012 volledig operationeel zijn.

ESO Council heeft 12 dagen geleden besloten, dat de volgende grote prioriteit is om tenminste een leidend aandeel te hebben in de bouw van 100 meter optische telekoop.

