

**WELKE STER
IS NU
DE MIJNE?**

REDE

**uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van
hoogleraar in de Sterrenkunde
aan de Rijksuniversiteit te Groningen
op dinsdag 26 januari 1988**

door

DR. P.C. VAN DER KRUIT

**Groningen
1988**

*Mijnheer de Rector Magnificus,
Dames en Heren Leden van het College van Decanen,
het College van Bestuur en de Universiteitsraad,
Dames en Heren Hoogleraren, Leden van de
Wetenschappelijke Staf, Medewerkers, Bestuurders
en Studenten aan deze Universiteit,
en voorts Gij allen, die door Uw aanwezigheid
blijkt geeft van Uw belangstelling,*

Zeer Gewaardeerde Toehoorders,

Het is ruim twee decennia geleden, dat een oratie of openbare les in de astronomie aan deze universiteit is gepresenteerd. Ik word dus bepaald niet beperkt in de keuze van onderwerp door wat recentelijk reeds door anderen is behandeld. Ik heb niet gekozen voor een gespecialiseerde discussie van een onderzoeksproject of een afwegen van allerlei argumenten aangaande de financiering en opzet van astronomisch onderwijs en onderzoek. Daar-entegen wil ik vanmiddag met u een breder onderwerp behandelen, dat ik heb samengevat in de titel van deze oratie met de vraag 'Welke ster is nu de mijne?'

Deze vraag, die een parafrase is van een vraag eens door één van mijn kinderen aan mij gesteld, maar in veler gedachten overeenkomstig de leeftijd ongetwijfeld in diverse varianten geformuleerd, duidt allereerst al op een vertrouwen, dat de sterrenkundige al die sterren wel uit elkaar weet te houden. Dit wordt ook gereflecteerd in de vaak door de leek gestelde vraag: 'Heeft u nu zelf al een ster ontdekt?' Overigens kan ik zelf die vraag met 'ja' beantwoorden, omdat ik in de gelukkige omstandigheid was in 1974 tijdens waarnemingen op de bekende 200-inch teleskoop op Palomar Mountain, California samen met mijn collega Chip Arp een supernova te ontdekken in het stelsel NGC 3310 (1). Maar veel belangrijker is, dat de gestelde vraag een teken van een verbondenheid tussen de mens op aarde en de donkere sterrenhemel aanduidt, die ons doet nadenken over onze plaats in het heelal. Het Engelse kinderversje zegt: 'Twinkle, twinkle, little star, how I wonder what you are'. Havank doet de sterrenhemel af in één van zijn boeken bij monde van de Schaduw met 'rommelig, slordig en typisch haastwerk'. Ik kies voor de eerste benadering.

ASTROLOGIE EN DE UNIVERSITEIT

Vanouds heeft de astrologie een belangrijke rol gespeeld in de relatie tussen mens en sterrenhemel. Allereerst was er de angst voor verschijnselen als zons- en maansverduisteringen en de daaruit afgeleide macht van diegenen, die deze voorspellen konden. Door de geschiedenis heen hebben fysische verklaringen geresulteerd in een bevrijding van de angst voor natuurverschijnselen. Dit is wellicht fundamenteler dan een vermeerdering van materialistisch geluk, die alchimisten nastreefden en in dat opzicht gaat dan ook de vergelijking tussen astrologie en astronomie enerzijds en alchimie en chemie anderzijds niet op. Zoals we ook in deze tijd kunnen waarnemen, is er diep in de mens een hang naar het mystieke en dit uit zich in het feit, dat de astrologie zich ook nu nog in een grote belangstelling kan verheugen, getuige de vele horoscopen in kranten en tijdschriften en onlangs ook bij de TROS op de televisie. Deze appelleren namelijk aan een algemeen zoeken naar houvast, leiding en bescherming in een onzekere wereld, die de religie en de natuurwetenschap kennelijk niet hebben kunnen geven. Onderzoek in de Verenigde Staten (2) heeft uitgewezen, dat meer dan 90% van ondervraagden hun astrologisch teken bleken te kennen. Dit is in schril contrast met het feit, dat nog geen 60% van studenten aan een Amerikaanse universiteit hun bloedgroep konden noemen (3). Het is niet moeilijk te argumenteren, dat bekendheid met dit laatste meer bescherming geeft dan het sterrenbeeld, waaronder we geboren zijn. Voorts vermoed ik, dat het feit, dat de bloedgroep een moeilijker toegankelijk gegeven is, ook niet de volledige verklaring is.

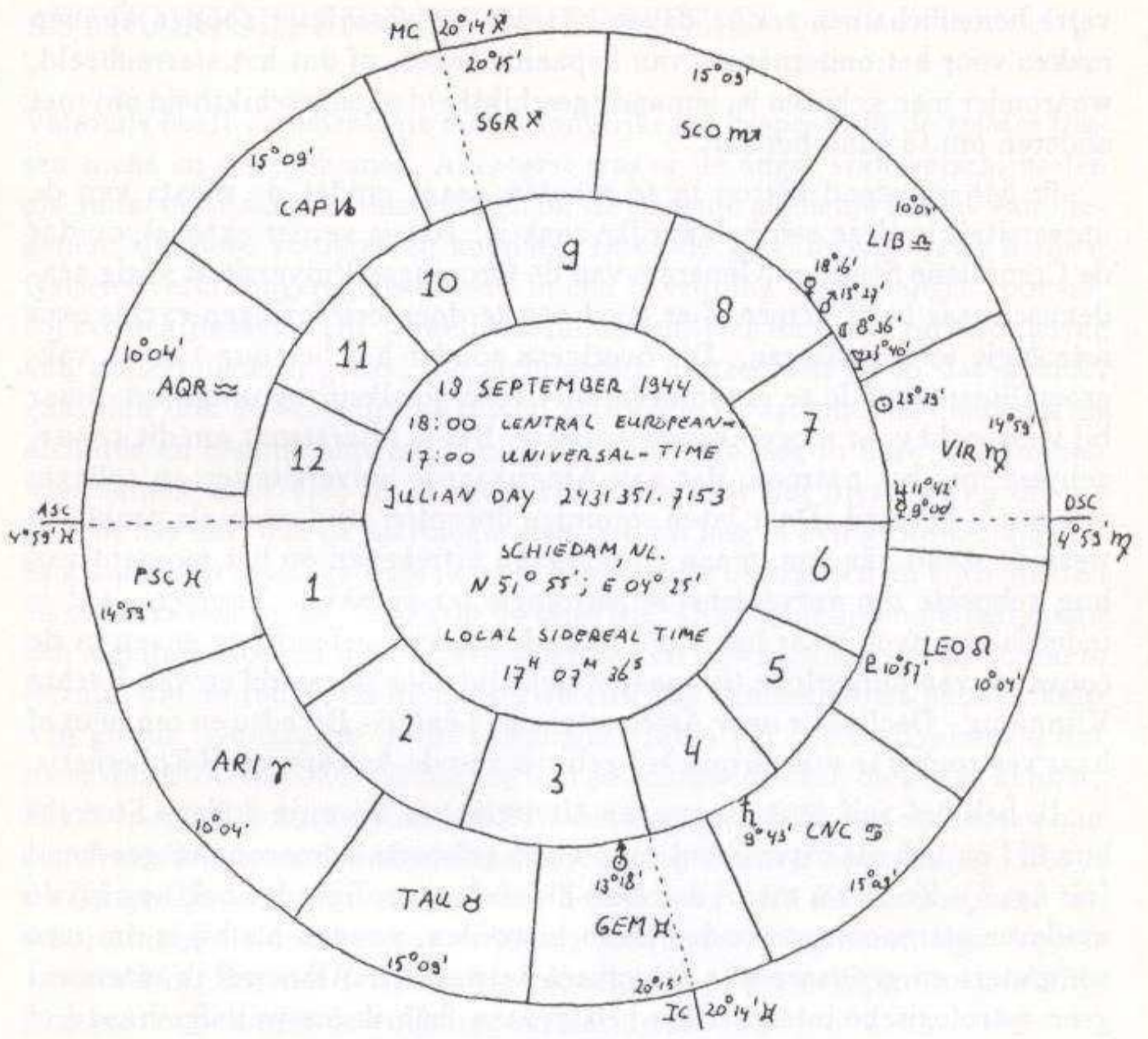
Ik wil erop wijzen, dat er in 1975 in de Verenigde Staten een verklaring is gepubliceerd (4) tegen wetenschappelijk rechtvaardiging van de methoden en de betrouwbaarheid van astrologische voorspellingen en praktijken. Deze verklaring is opgesteld door de van geboorte Nederlandse en in Groningen opgeleide en gepromoveerde astronoom Bart J. Bok en is ondertekend door 186 vooraanstaande wetenschappers, voornamelijk astronomen, astrofysici en fysici. Het is niet eenvoudig om de hand te leggen op de volledige tekst en ik citeer enkele passages, door mij in het Nederlands vertaald, om de strekking te illustreren: 'De tijd is gekomen om direct en krachtig de pretentieuze beweringen van de astrologische charlatans te weerleggen.' 'Het is gewoon fout te denken, dat de krachten, die de sterren en planeten op ons uitoefenen ten tijde van onze geboorte enige invloed kunnen hebben op onze toekomst. Ook is het niet waar, dat de posities van

verre hemellichamen zekere dagen of perioden geschikter zouden kunnen maken voor het ondernemen van bepaalde zaken, of dat het sterrenbeeld, waaronder men geboren is, iemands geschiktheid of ongeschiktheid om met anderen om te gaan bepaalt.'

Ik heb gemeend hierop in te moeten gaan, omdat de plaats van de universiteit in deze een belangrijke zaak is. Het is verder aktueel, omdat de Commissie Studium Generale van de Groningse Universiteit vorig academisch jaar heeft gemeend er goed aan te doen een lezingen-cyclus over astrologie te organiseren. Dit overigens zonder het bestuur van de vakgroep Sterrenkunde te raadplegen, niet voor goedkeuring uiteraard, maar bij voorbeeld voor mogelijke participatie. Het is interessant om dit te vergelijken met het patroon, dat aan Amerikaanse universiteiten en colleges wel wordt gevolgd. Daar laten sommige docenten studenten als praktisch werk de stand van zon, maan en planeten uitrekenen op het moment van hun geboorte om vervolgens de astrologie ter sprake te brengen. Dit is inderdaad zinvol, waar het erom gaat de student oefening te geven in de conversie van burgerlijke tijd naar wereldtijd naar sterretijd en van Rechte Klimming - Declinatie naar Astronomische Lengte - Breedte en om hem of haar vertrouwd te maken met het gebruik van de Astronomical Ephemeris.

Ik heb het zelf eens overwogen als werkstuk bij mijn college Sterrenkunde I en heb als experiment mijn eigen geboorte horoscoop uitgerekend (zie fig. 1). Zo ziet u maar, dat deze klassieke vaardigheden ook nog bij de moderne astronoom gevonden kunnen worden, gewend als hij is om met computers en geavanceerde detectoren te werken. Alhoewel ik uiteraard geen astrologische interpretatie heb gedaan, heb ik me wel afgevraagd of een astroloog plezierige of vervelende consequenties zou hebben verbonden aan het feit, dat de Zon, Maan, Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Neptunus (7 van de 10 relevante objecten) in een interval van 40° lengte geconcentreerd lagen. Ik heb het echter niet in het werkcollege ingevoerd. En dat niet alleen om praktische redenen, bijvoorbeeld dat weinigen hun geboortetijdstip tot op de vereiste 10 minuten nauwkeurig weten. Eerder vond ik, dat de discussie een zwaarder accent op de astrologie legt dan aan de universiteit past.

Ik ben daarin in zoverre van gedachten veranderd, dat ik nu wel vind, dat met name de astronomen ernstig moeten waarschuwen tegen misbruik van goed geloven. Daarbij moet het allereerst duidelijk zijn, dat een ieder uiteraard vrij is om in een onzekere wereld naar steun te zoeken door een horoscoop te lezen of een astroloog te raadplegen. Het gaat mij er



Figuur 1: De geboorte horoscoop van de auteur. De indeling van de astrologische huizen is volgens Porphyry.

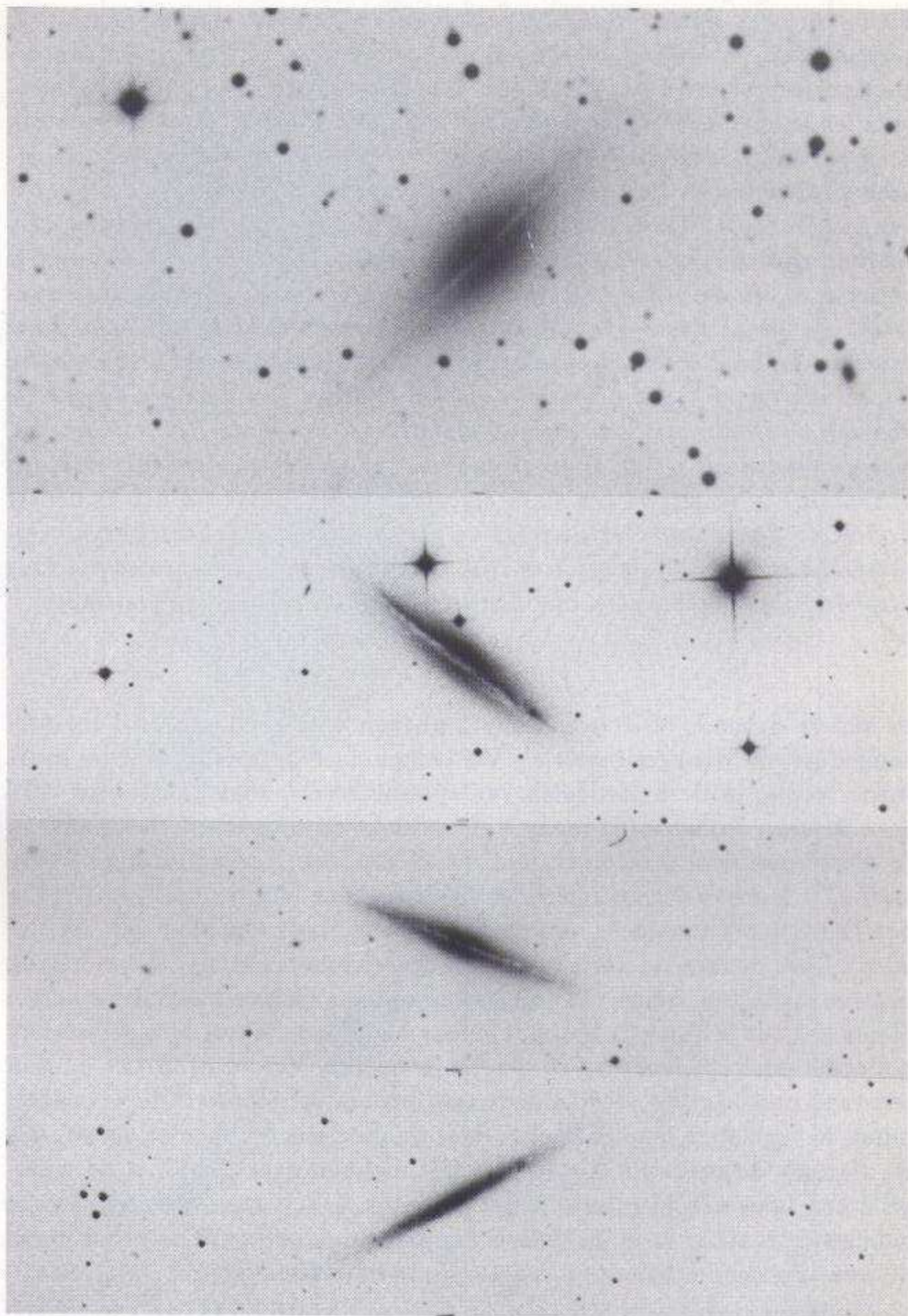
ook niet om te reageren op detail aspecten. Uiteraard zullen horoscopen noodzakelijk erg vaag moeten zijn om op een twaalfde van de bevolking van toepassing te zijn. Het gaat mij erom, dat de universiteit zich dient te verzetten tegen en uitspreken over claims van *wetenschappelijke* onderbouwing van de astrologie. Het overige is niet haar taak. In dit verband wijs ik op bijvoorbeeld het onderzoek met zogenaamde 'double-blind tests' van S. Carlson uit Berkeley, dat in 1985 in Nature is gepubliceerd (5). De meest succesvolle test uit dat onderzoek bestond eruit om erkende astrologen een aantal geboorte horoscopen ('natal charts') te geven samen met de zgn. California Personality Inventory 'CPI' (door de astrologen vooraf als accurate persoonsbeschrijving erkend) van zowel de proefpersoon van de natal chart zelf als van twee willekeurige andere personen. De procedures daarbij waren goedgekeurd door de National Council for Geocosmic Research. In overeenstemming met de hypothese, dat een geboorte horoscoop niets zegt over iemands persoonlijkheid, kozen de astrologen in $34 \pm 4 \%$ van de gevallen de goede CPI bij de gegeven natal chart.

Samenvattend: Er is geen enkel natuurwetenschappelijk bewijs voor de voorspellingskracht van de astrologie. Verder laat een universiteit zich naar mijn mening niet uit. Het organiseren van een Studium Generale heeft het grote gevaar in zich, dat de indruk wordt gevestigd, dat astrologie wel een wetenschappelijke basis heeft.

STRUCTUUR EN EVOLUTIE VAN MELKWEGSTELSELS

Nu naar de astronomie zelf. De uitspraak: 'Wij zijn kinderen van het heelal', zegt, dat we een produkt zijn van kosmische evolutie. De bestudering en beschrijving daarvan is het uiteindelijke doel van de sterrenkunde en dit is ook de maatschappelijke rechtvaardiging voor de beoefening van de astronomie als deel van het wetenschappelijk onderzoek en daarom van onze cultuur. Een belangrijke schakel in het proces van kosmische evolutie is de vorming en de ontwikkeling van melkwegstelsels (deze worden ook wel sterrenstelsels genoemd, maar dit doet geen recht aan andere constituenten zoals gas, stof, donkere sterren, restanten van sterevolutie, enz.). Dit werk staat bij de Groningse vakgroep sterrenkunde centraal, evenals in mijn eigen onderzoek. Ik wil u nu meenemen langs dit proces, zoals ik het zie althans, en u wijzen op de verworven inzichten en de openstaande vragen. Na de eerste fase van het heelal, waarschijnlijk in een fractie van de eerste seconde gekarakteriseerd door een periode die men inflatie noemt, bleef er na ongeveer drie minuten een expanderend mengsel over van waterstof en helium in een massaverhouding van ongeveer 3 op 1, fotonen, neutrino's en wellicht allerlei exotische produkten van de fantasie van theoretische fysici. Het stralingsveld had de grootste energiedichtheid en bepaalde de expansie van het heelal. Na ongeveer een miljoen jaar gaat de materie domineren en bepaalt de gravitatie de verdere evolutie van het heelal. De snelheid van expansie is dan zodanig afgestemd, dat het heelal waarschijnlijk juist zal expanderen, totdat het na een oneindige tijd met een oneindige afmeting precies gestopt zal zijn; zoals een raket, die de aarde met de ontsnappingssnelheid verlaat een afnemende snelheid heeft, die juist op oneindige afstand nul geworden zal zijn. De voor de afremming noodzakelijke materie vinden we slechts voor een klein deel in sterren

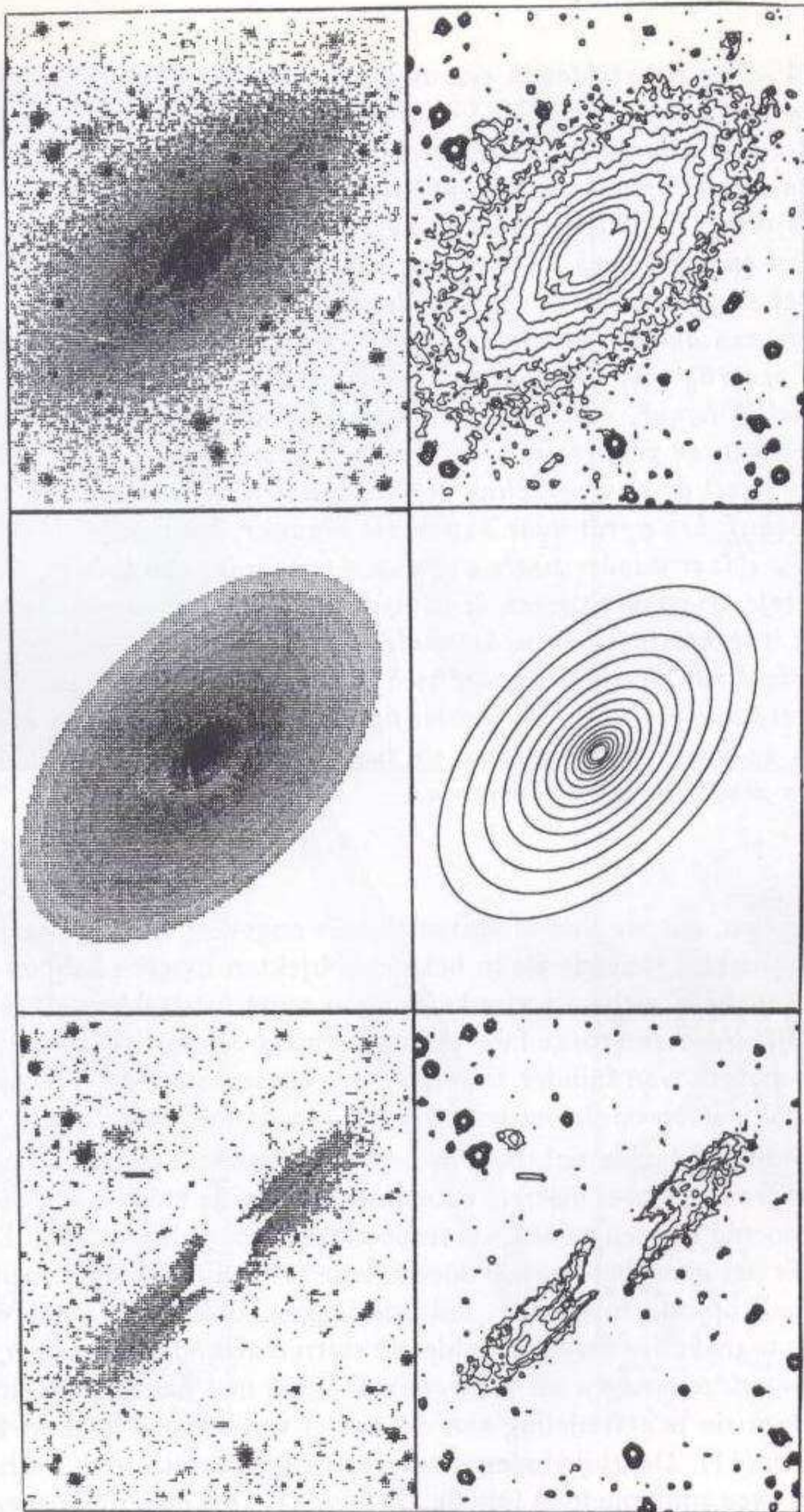
Figuur 2: Optische opnamen van vier spiraalstelsels op hun kant, gemaakt met de 48-inch Schmidt teleskoop te Palomar Mountain, California. Analyses als gepresenteerd in fig. 3 en 4 zijn op zulk fotografisch materiaal gebaseerd. Van boven naar onder zien we een afnemende bijdrage van de sferoïde of halo populatie ten opzichte van de schijf. De stelsels zijn NGC 7814 (zie ook fig. 3), NGC 4217, NGC 4013 (zie ook fig. 5) en NGC 5023. In de eerste komt slechts 2% van het licht van de schijfpopulatie en in de laatste 100%.



Figuur 3: *Het stelsel NGC 7814, dat we op de kant waarnemen, bevat voornamelijk halo component (sferoïde) of populatie II (zie fig. 2 boven). De figuren geven een illustratie van de gevolgde methoden om de twee populaties te scheiden. Telkens zien we in de linker figuur een weergave van de oppervlakte-helderheid aan de hemel via een zwartingstabel met 16 niveau's. Rechts zijn dezelfde data weergegeven met contouren, die punten van gelijke oppervlakte-helderheid verbinden. Tussen beide kunnen verschillen zijn, waar de respons van (voorgronds-)sterren in de computer is verwijderd. In de praktijk gebruiken we vaak beeldschermen bij deze analyses. De eerste figuur geeft de waargenomen verdeling aan de hemel; het centrale donkere deel was overbelicht op de originele fotografische platen. De tweede figuur toont een model van de bijdrage van de sferoïde of halo populatie. Deze heeft een geringe afplatting. De derde figuur laat zien, wat we vinden als we de bijdrage van deze sferoïde van de waarnemingen aftrekken. Er resulteert een sterk afgeplatte schijf, waarvan het binnenste deel in de figuur ontbreekt, omdat de platen daar overbelicht waren. Opmerkelijk is, dat het stelsel kennelijk fundamenteel is opgebouwd uit twee afzonderlijke componenten met discrete, zeer verschillende afplattingen.*

en andere bekende objecten, en het onbekende merendeel wordt meestal aangeduid als 'donkere materie'. We nemen deze bijvoorbeeld waar in de snelle rotatie in de buitendelen van spiraalstelsels, zoals omstreeks 1970 door Morton Roberts (6) in de V.S. ontdekt en uitgediept met name in de Groningse onderzoekingen met de Westerbork Radio Synthese Teleskoop (7). Hoewel deze donkere materie minstens 90% van alle materie in het heelal moet omvatten, weten we er niets meer van dan dat het bestaat. Deze donkere materie is voor melkwegstelsels met name van belang in twee opzichten, beide van toepassing op de vroegste fase. In de eerste plaats zal het een nog onbekende, maar bepalende faktor zijn geweest in het ontstaan van structuur in het jonge heelal. Verder geeft het de dan ontstane protostelsels voldoende massa om via getijdenwerking op nabije burens te verklaren, hoe met name de spiraalstelsels hun hoekmoment, dat we zien als de snelle rotatie in de schijf, hebben gekregen. Uit de waargenomen hoeveelheid rotatie is het mogelijk te schatten hoeveel van die onbekende materie er in de stelsels aanwezig moet zijn om de grootte van de waargenomen draaiing op deze wijze te bewerkstelligen.

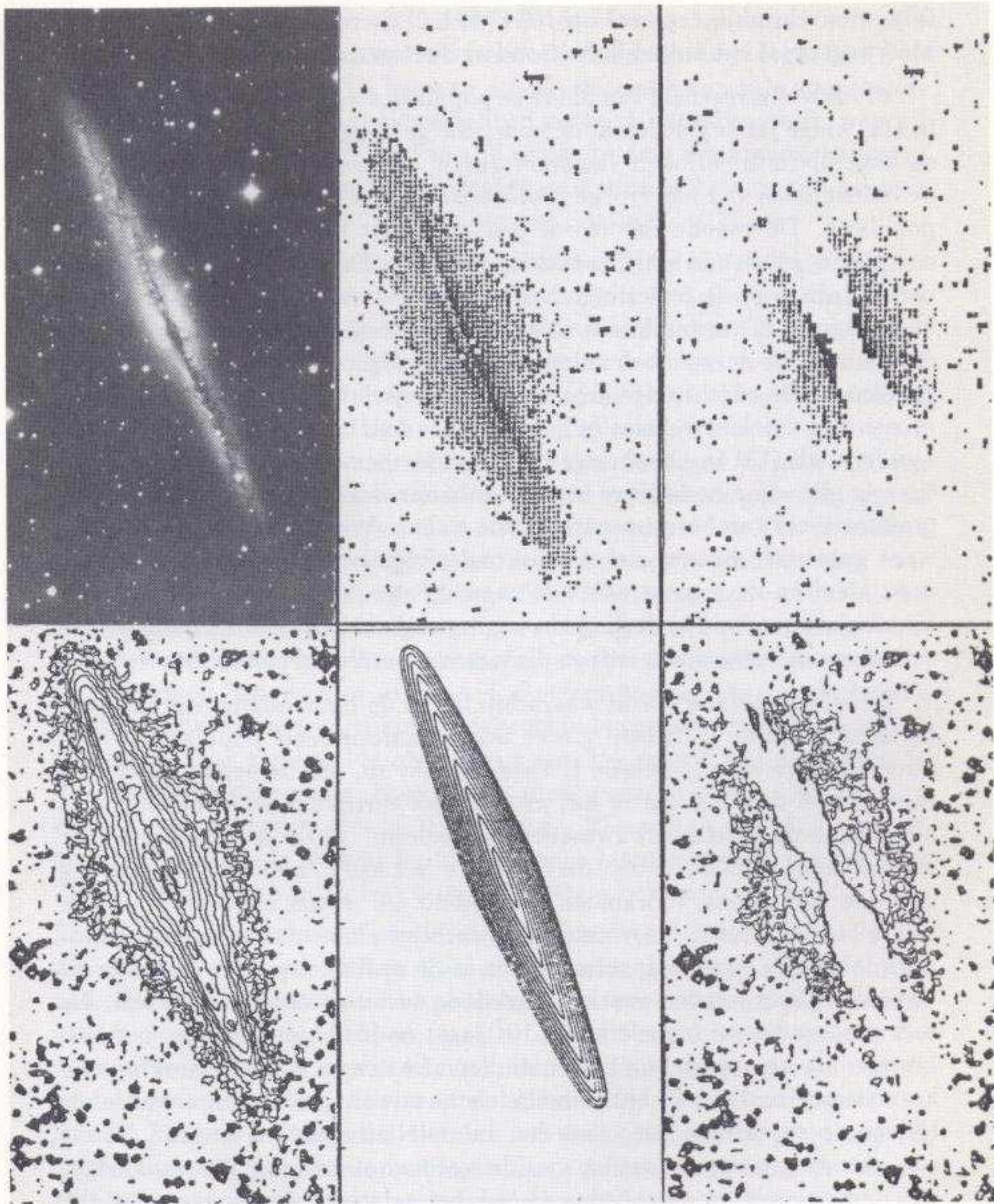
Onderzoekingen van Mike Fall en George Efsthathiou (8) en van mijzelf



Figuur 4: Deze figuren tonen een analyse, vergelijkbaar met die in fig. 3, maar nu van het stelsel NGC 891, dat we eveneens op z'n kant waarnemen. Het lijkt waarschijnlijk erg veel op ons eigen Melkwegstelsel en hier is het de schijf component of populatie I, die domineert. De presentatie is nu als volgt. In de bovenste drie figuren zien we allereerst een foto van het stelsel en vervolgens de verdeling van de kleur van het sterlicht. Hoe donkerder de representatie, des te roder is het licht. Dit is bepaald door de resultaten van analyse van fotografische opnamen met emulsie-filter combinaties gevoelig voor verschillende golflengten te vergelijken. We zien in de middelste figuur, dat het licht nabij de stofbaan in het vlak roder is als gevolg van de verstrooiing van het licht door de stofdeeltjes. De rechter figuur geeft de kleurverdeling in de sferoïde na aftrekking van het licht van de schijf; het wordt naar buiten toe blauwer, hetgeen erop duidt, dat de sterren aldaar minder zware elementen (zwaarder dan helium) bevatten. De onderste drie figuren geven de componenten-analyse in contourkaarten. Links de waarnemingen en in het midden het model voor de schijf. Hierbij is de invloed van de stofbaan, die zich toch dichtbij het vlak concentreert, niet in rekening gebracht. De rechter figuur laat de sferoïde zien na aftrekking van de schijf. Ook hier zien we twee afzonderlijke componenten met volkomen verschillende afplattingen.

(9) laten zien, dat we dan in spiraalstelsels ongeveer twintig maal zoveel massa in donkere materie als in bekende objecten moeten hebben en dat die 'donkere halo' zich zo'n vier keer zo ver moet uitstrekken als de zichtbare schijf. Na deze vroege fase van de vorming echter lijkt de rol van de donkere materie van minder belang en we nemen aan, dat het niet veel invloed zal hebben op de verdere evolutie van de melkwegstelsels.

De verdeling van de zichtbare materie in spiraalstelsels is fundamenteel te beschrijven met twee discrete componenten, die de halo of sferoïde en de schijf genoemd worden, of ook wel respectievelijk populatie II en I. Dit is in 1944 voor het eerst beschreven door Baade (10), die de Andromedanevel fotografisch oploste in sterren; dat wil zeggen, dat hij in staat was om opnamen te maken, waarop de helderste sterren afzonderlijk te zien waren. We kunnen deze opbouw uit twee componenten met name mooi zichtbaar maken door de lichtverdeling aan de hemel van stelsels op hun kant te bestuderen (11). Daarbij vinden we dan een grote variatie in de verhouding van deze twee componenten (zie fig. 2, 3 en 4). Ons eigen Melkwegstelsel



lijkt waarschijnlijk erg veel op NGC 891 (12), zoals een aanblik van de Melkweg vanaf het zuidelijk halfrond al doet vermoeden.

Uit deze discreetheid van die twee populaties hebben Leonard Searle en ik (11) enige jaren geleden al de conclusie getrokken, dat dit moet wijzen op twee discrete perioden van stervorming. De eerste treedt vooral op in de binnendelen van het vroege protostelsel en geeft aanleiding tot de halo populatie. De tweede fase treedt pas op, nadat het overblijvende gas in een platte, roterende schijf is samengetrokken. Doordat sterren onderling niet botsen, zijn de onderlinge bewegingen van de halo sterren groot gebleven ten opzichte van hun systematische bewegingen. Omdat de sterren dan hun totale energie behouden, wordt dit dissipatievrije samentrekking genoemd. De regelmatige structuur van populatie II ontstaat door het proces van 'violent relaxation', voor het eerst beschreven door Donald Lynden-Bell (13) in Cambridge. De deeltjes herverdelen hun bewegingsenergie niet door onderlinge interactie, maar door het snel veranderende gravitatieveld van het samentrekkende stelsel. Voor het gas is dit anders, want gaswolken botsen wel en hun onderlinge bewegingen worden daardoor klein en de samentrekkende gasschijf dun. Deze dissipatie van de kinetische energie in onderlinge bewegingen geschiedt, doordat het gas bij de botsingen verwarmd wordt en die warmte wordt vervolgens uitgestraald.

De halo populatie vormt waarschijnlijk in de binnendelen van het protostelsel, waar de dichtheid groter was. Daarom heeft populatie II veel minder rotatie dan populatie I. Verder is het zo, dat de eerste generaties sterren heel snel het gas in het protostelsel verrijkt moeten hebben met alle chemische elementen zwaarder dan helium. In de astronomie wordt dit collectief van elementen, die overal in het heelal onderling in ruwweg dezelfde verhouding voorkomen, aangeduid als 'zware elementen' of ook wel 'metalen', omdat het vooral metaalachtige elementen zijn, die verantwoordelijk zijn voor de spectraallijnen in de optische spectra van sterren. Deze verrijking wordt bewerkstelligd door de meest massieve sterren, die zeer snel evolueren (enkele keren 10^7 jaar) en in de laatste fase van hun bestaan als supernova hun buitenschillen afstoten en zo de produkten van kernfysische reakties in hun binnendelen - zowel tijdens hun evolutie als tijdens de supernova fase - aan het interstellair gas toevoegen. Het is één van de grootste triomfen van de natuurwetenschap, dat de kernfysica, astronomie en astrofysica samen het relatieve voorkomen van alle chemische elementen in het heelal, inclusief dat van hun isotopen hebben kunnen verklaren. De elementen, die in dit proces van nucleosynthese het

meest abundant gevormd worden, zijn koolstof, zuurstof en stikstof; juist de belangrijkste elementen naast waterstof, waaruit levende organismen op aarde zijn opgebouwd. Wij bestaan dus bij de gratie van vele voorgaande generaties van sterren, die ervoor hebben gezorgd, dat de gaswolk, waaruit het zonnestelsel ontstond, 2% van zijn massa in deze zwaardere elementen had. Zonder deze sterren zou er slechts waterstof en helium zijn geweest en zou leven op aarde niet hebben kunnen ontstaan.

De hypothese van dissipatievrije samentrekking van de halo populatie is echter enigszins omstreden. Tegenstanders ervan wijzen met name op de zogenaamde abundantiegradiënten in de sferoïden van externe spiraalstelsels. Dit zien we bijvoorbeeld in het verloop van de kleur van het licht in deze componenten, dat van binnen naar buiten blauwer wordt en erop duidt, dat de sterren in de binnendelen relatief meer zware elementen bevatten dan die verder naar buiten. Dit kan verklaard worden met een langzame, dissipatieve samentrekking van een verrijkende gaswolk, waarin een eveneens langzaam proces van stervorming optreedt. Aan de andere kant kunnen we veronderstellen, dat deze abundantie-gradiënt al is ontstaan *voor* de samentrekking van populatie II. Het proces van chemische verrijking stopt in een gebiedje van stervorming in het protostelsel, wanneer het resterende gas door de supernova explosies wordt verwarmd en weggeblazen. Hoe dichterbij het centrum komen, hoe moeilijker dit wordt en dus zal het verrijkingproces naar binnen toe verder en verder voortgaan. De gemiddelde abundantie van het totaal van de gevormde sterren is daar dan groter. Sterren met meer zware elementen hebben dan vanaf het begin een grotere bindingsenergie. Tjeerd van Albada (14) heeft hier in Groningen in numerieke experimenten laten zien, dat zo'n gradiënt tijdens het proces van violent relaxation statistisch bewaard blijft.

Tijdens het proces van stervorming worden sterren van een heel scala van massa's gevormd en hoe kleiner de massa, hoe langer de evolutietijd. Die sterren van de oudste generaties, die een massa als ongeveer die van de zon of minder hebben, moeten daarom nog steeds bestaan. De vraag is enige decennia geweest, waar dan die langlevende sterren van de eerdere populaties zijn. Allereerst de alleroudste, die nog geen zware elementen kunnen bevatten en die men wel de hypothetische populatie III heeft genoemd. Naar mijn mening is dit slechts een schijnbaar probleem. Met het zogenaamde 'one-zone model' van chemische evolutie kan uitgerekend worden, dat in een collectie sterren als ons Melkwegstelsel slechts een duizendste van de sterren een abundantie kleiner dan -3 zullen hebben.

Deze astronomische notatie duidt op sterren, waarin de zware elementen voorkomen met een hoeveelheid duizend keer kleiner dan in de zon, d.w.z. slechts een paar duizendste procent van alle materie (die verder dan in de vorm is van waterstof en helium). Als deze sterren verdeeld zijn als populatie II, komt dit neer op slechts zoiets als tien van die sterren binnen 100 pc van de zon. Binnen dit volume weten we al van het bestaan van een paar van zulke sterren. Alhoewel het gebruikte model uiteraard een simplificatie is, moeten we in overeenstemming met de waarnemingen concluderen, dat er slechts zeer kleine aantallen sterren met extreem lage abundanties te verwachten zijn.

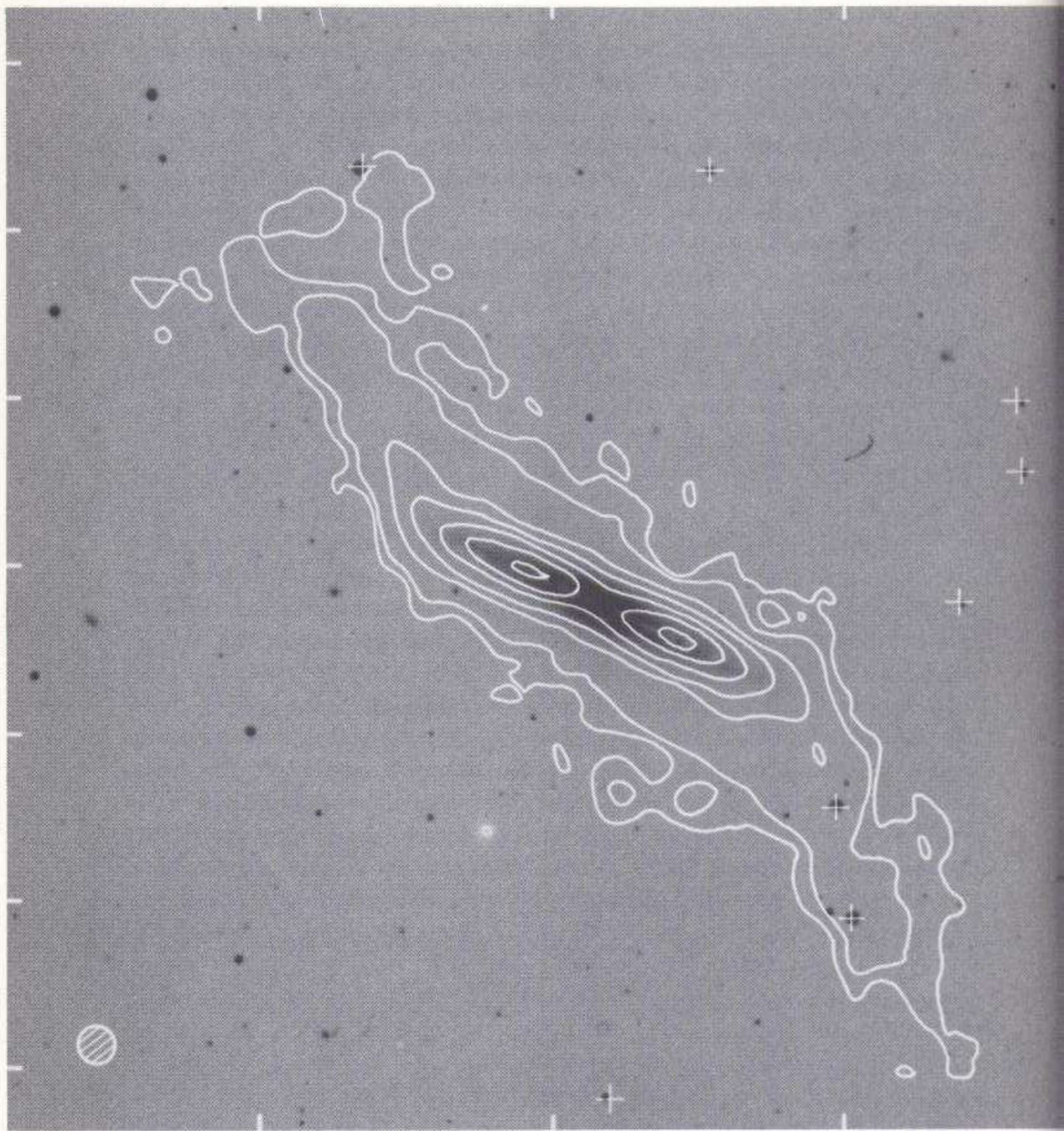
Het tweede probleem is het zogenaamde 'G-dwergen probleem', dat zegt, dat we in de zonsomgeving een verkeerde abundantie verdeling onder de G-dwergen vinden. Deze sterren leven ook langer dan het Melkwegstelsel oud is en vormen dus het volledige resultaat van de stervorming en chemische evolutie van de lokale populatie. Het probleem is dan, dat er minder van die G-dwergen met lagere abundantie in de zonsomgeving zijn dan op grond van de evolutie van de schijf te verwachten is. Het probleem kan opgelost worden, als de ontbrekende G-dwergen met lage abundantie zich niet in de klassieke schijf, maar in de 'dikke schijf' bevinden, die ontdekt en beschreven is door Gerry Gilmore, Neill Reid en Rosemary Wyse (15). Deze component, die ongeveer vijf maal zo dik is als de echte schijf, bevat niet meer dan 10% van de totale massa aan schijf-populatie en spreekt de fundamentele discrete populatie structuur van melkwegstelsels niet tegen. Het is waarschijnlijk ontstaan bij een verhoogde activiteit van stervorming in de laatste stadia van gascontractie tot een platte schijf. De kinematische en chemische eigenschappen van de sterren in deze dikke schijf zijn hiermee in overeenstemming. De grotere dikte verklaart dan de lage lokale dichtheid van G-dwergen met lage abundantie.

Een fundamentele vinding in de ruimtelijke verdeling van het sterlicht in de schijven van stelsels was, dat de radiële oppervlakte-helderheid van boven ('face-on') gezien exponentieel was. Dit oudere resultaat van Gerard de Vaucouleurs en Ken Freeman (16) werd door Leonard Searle en mij (11) uitgebreid met de waarneming, dat na 4 tot 5 exponentiële schaallengten er een vrij scherpe rand optreedt. Beide waarnemingen blijken nu terug te voeren op de structuur van het protostelsel, namelijk als het als gevolg van de vorming van structuur in het heelal en de getijde-wisselwerking met de burens begint als een ruwweg uniforme bol, die met uniforme hoeksnelheid roteert. Dit was al lang geleden opgemerkt door L. Mestel (17) in Engeland

aan de hand van wat in de zestiger jaren bekend was over de massaverdeling en rotatiekromme in ons Melkwegstelsel en wordt daarom wel Mestels hypothese genoemd. James Gunn (18) heeft al aangegeven, dat als materie met de impulsmoment verdeling van de uniforme, uniform roterende bol in een dunne schijf met een vlakke rotatiekromme verdeeld wordt, een ruwweg exponentiële verdeling van oppervlakte-dichtheid ontstaat. Uit nadere beschouwing vond ik (9), dat deze beschrijvingswijze tevens vrij scherpe randen juist op 4.5 schaallengten voorspelt. Overigens moeten we dan aannemen, dat het gas, dat we voorbij de rand van de stellaire schijf waarnemen, later ingevallen is. Dit is niet onwaarschijnlijk, omdat in Westerbork als eerste door Renzo Sancisi (19) gevonden is, dat dat gas vaak in een ander vlak ligt dan de optische schijf en dat die afwijkingen juist aan de rand van die optische schijf beginnen. Het meest extreme geval hiervan is vorig jaar gevonden in de Westerbork waarnemingen van het stelsel NGC 4013 door Roelof Bottema, Seth Shostak en mijzelf (20) (zie fig. 5).

De studie van de parameters van de stellaire schijven is een goed voorbeeld van wat in de toekomst gedaan kan worden om te weten te komen welke de eigenschappen waren van de gaswolken, die zich van de expansie van het heelal losmaakten en zo de protostelsels vormden. Het zojuist beschreven model legt namelijk een verband tussen de schaallengte en dus de afmeting van de schijf met het totale impulsmoment van het protostelsel. Statistische studie van het voorkomen van de diverse schaallengten zegt dan iets over de statistische verdeling van totaal en specifiek hoekmoment onder de protostelsels en over het ontstaan van structuur in het heelal. Gerelateerd daaraan is de waargenomen verdeling van centrale oppervlakte-helderheid. Ken Freeman (16) vond in 1970, dat deze voor de meeste grote stelsels altijd binnen een kleine faktor dezelfde waarde heeft. In recent werk heb ik dit uitgebreid tot een statistisch complete steekproef en althans voor grotere spiraalstelsels deze 'wet van Freeman' bevestigd. Het genoemde model kan dit verklaren, als voor al deze stelsels dezelfde verhouding tussen zichtbare en donkere materie geldt. Dit hoeft niet verbazend te zijn; als de donkere materie uit andere deeltjes dan baryonen bestaat zegt het alleen, dat overal in het heelal eenzelfde verhouding tussen baryonen en niet-baryonen was.

Een ander aspekt is de vinding van Searle en mijzelf (11), dat de schijven een konstante dikte hebben als functie van de afstand van het centrum. Deze verticale verdeling resulteert uit de snelheidsverdeling van de sterren



The figure shows the intensity distribution of the object, with the central region being the brightest. The contours represent different intensity levels, and the overall shape is elongated and irregular. The background contains several stars, and a grid of tick marks is visible. A small circle with diagonal hatching is located in the bottom-left corner.

Figuur 5: *De enorme 'warp' in het neutrale waterstofgas van het spiraalstelsel NGC 4013, dat we op de kant waarnemen. Lijnen van gelijke oppervlakte-dichtheid van waterstof, gemeten in Westerbork, zijn gesuperponeerd op een optische foto. Het gas strekt zich tot bijna driemaal grotere straal uit dan het sterlicht en buigt aan de rand van de sterschijf naar een volkomen ander vlak.*

in de schijf; bij dezelfde oppervlakte-dichtheid geeft een grotere snelheidsdispersie een grotere dikte. Spitzer en Schwarzschild gaven reeds in de vijftiger jaren aan, dat de waargenomen toename van de stellaire snelheden in de zonsomgeving als functie van leeftijd het gevolg van seculaire evolutie is onder invloed van verstoringen van de sterbanen. Kandidaten voor die verstoring zijn massieve moleculaire wolken in het interstellair medium, spiraalstructuur en andere. De konstante dikte kan dan resulteren als gevolg van een terugkoppeling, waarbij de kinematische evolutie van de schijfpopulatie het gevolg is van dezelfde verstoringen, die ook belangrijk zijn voor het bepalen van het tempo van stervorming. In de buitendelen is dan minder materie en dus minder stervorming, maar ook minder evolutie van de snelheidsverdeling.

Het is dus van groot belang om te meten, hoe groot die snelheidsdispersies in de stellaire schijven zijn. Dit is erg moeilijk te doen door de zeer zwakke oppervlakte-helderheid van de schijven. Ken Freeman en ik (21) vonden na lange integraties met de grote (3.9 meter) Anglo-Australian Telescope in enige nabije spiraalstelsels, dat de stellaire snelheidsdispersies inderdaad van binnen naar buiten afnemen als op grond van de constante dikte te verwachten was. Opmerkelijk is ook, dat de gemeten snelheidsdispersies vergelijkbaar zijn met wat minimaal nodig is voor het in stand houden van lokale stabiliteit. Het is namelijk zo, dat de stellaire schijven hun gladde ruimtelijke sterverdeling zonder lokale instabiliteiten in stand houden door de onderlinge bewegingen van de sterren. In een lopend proefschrift-onderzoek vindt Roelof Bottema nu ook een interessante relatie tussen de (op een uniforme afstand van het centrum genormeerde) stellaire snelheidsdispersie en totale helderheid van het stelsel. Dit soort studies geven informatie over de evolutie van de schijf na de vorming.

Samenvattend kunnen we het proces van vorming van spiraalstelsels als volgt kenmerken. In het vroege heelal ontstaat structuur in de materieverdeling van waterstof, helium en donkere materie en de laatste kan daarbij

wel eens een bepalende rol gespeeld hebben. Door getijdewerking krijgen de protostelsels hoekmoment en de noodzakelijke hoeveelheid hiervan resulteert als de stelsels ongeveer twintig keer zoveel donkere als zichtbare (dus in baryonen) materie bevatten. In de protostelsels treedt stervorming en het ermee gepaardgaande proces van nucleosynthese op, wat voor de vorming van elementen zwaarder dan helium zorgt. De sterren uit deze eerste fase vormen de huidige populatie II na een dissipatievrije samen-trekking en 'violent relaxation'. Het overblijvende gas, dat hoekmoment heeft en met dissipatie evolueert, vormt de schijf, waarin tot op heden stervorming plaatsvindt.

We zien dus, dat onze zon, en daarom wij, een produkt zijn van een lange kosmische evolutieweg, die ik in het voorbij gaan slechts summier heb kunnen beschrijven. Allereerst was het nodig, dat er structuur ontstond in het jonge heelal, d.w.z. zo'n 15 miljard jaar geleden. Vervolgens waren er vele generaties van sterren nodig om het interstellaire gas te verrijken met de chemische elementen noodzakelijk voor het ontstaan van leven. De wijze, waarop dit in zijn werk is gegaan, zien we terug in de populatie structuur van melkwegstelsels. Ons Melkwegstelsel moest vervolgens een schijf vormen uit het overblijvende, verrijkte gas, waarin dan 4.5 miljard jaar geleden ons planetenstelsel ontstond met als centrale ster een langlevende, maar toch niet te koele G-dwerg. Ook moest er een planeet zijn op juist de goede afstand, waar het miljarden jaren durende proces van biologische evolutie heeft kunnen plaatsvinden.

DE TOEKOMST VAN HET HEELAL EN HET VOORKOMEN VAN LEVEN

En wat is de toekomst van het heelal? Over zo'n 5 miljard jaar zal de zon ophouden met waterstof-verbranding en na een korte fase als rode reus met helium-verbranding uitdoven als een witte dwerg. Dit duurt nog wel heel lang, maar Woody Allen zei ervan: 'Oh, I am so depressed: I just heard that the sun will die in five billion years'. Over 10 tot 20 miljard jaar zal alle stervorming in het Melkwegstelsel ophouden, omdat dan alle gas is opgebruikt. Wat er verder gebeurt, hangt ervan af, of we in een heelal leven, dat onder invloed van zijn zwaartekracht stopt met expanderen op een dergelijke tijdschaal, waarna het weer zal samentrekken, of in een heelal, dat oneindig lang expandeert. Alles wijst op het laatste, zodat het ontstaan van het heelal in een 'Big Bang' dus niet gevolgd zal worden door een omgekeerd einde in een 'Big Crunch'. Het heelal zal dan alsmaar kouder worden en niet in een vuurdood eindigen. Men kan zich afvragen welke te prefereren is; Robert Frost zegt in 'Fire and Ice':

'Some say the world will end in fire,
Some say in ice.
From what I've tasted of desire
I hold with those who favour fire.
But if it had to perish twice,
I think I know enough of hate
To say that for destruction ice
Is also great
And would suffice.'

Na ongeveer 10^{14} jaar in ons open heelal zullen alle sterren en hun overblijfselen zijn afgekoeld. Freeman Dyson (22) heeft beschreven wat er op lange termijn gebeurt. Er is een heel scala van tijdschalen, waarop fysisch interessante processen optreden en ik verwijs naar zijn artikel voor een volledige bespreking. Onder andere zullen de sterren in ongeveer 10^{19} jaar van de melkwegstelsels loskomen, alle zwarte gaten in 10^{64} jaar of zo verdampen via het Hawking proces, alle materie vervallen tot ijzer in 10^{1500} jaar, enzovoorts.

Ik wil dit gedeelte echter afsluiten met enkele woorden over het antropisch principe en het voorkomen van buitenaards leven in het heelal. Dit principe zegt, dat de fysische wetten en de structuur van het heelal

juist zijn zoals ze zijn om de aanwezigheid van waarnemers zoals wij mogelijk te maken. Men kan laten zien, hoe een zeer delicate afstemming van diverse micro- en macrofysische wetten en constanten, als kennelijke toevalligheden, juist noodzakelijke voorwaarden zijn voor het ontstaan van leven, zoals we het hier kennen. Bijvoorbeeld moet de gravitatie zo zwak zijn vergeleken bij de andere fundamentele wisselwerkingen, omdat sterren dan juist een voldoende grote massa zullen hebben om de centrale dichtheden en temperaturen te bereiken, die nodig zijn om waterstof-verbranding te doen plaatsvinden. Daardoor is de benodigde tijd voor de vorming van koolstof, zuurstof en stikstof, die op hun beurt weer nodig zijn om leven mogelijk te maken, al van de orde van 10^9 jaar. Biologische evolutie duurt ook weer enige miljarden jaren en daarvoor is het dan weer nodig, dat de zon een leeftijd van miljarden jaren kan bereiken. Op zijn beurt wordt dit weer mogelijk gemaakt door o.a. de waargenomen grootte van de gravitatie-constante. Dit alles impliceert dan, dat het heelal wel van de orde van 10^{10} jaar oud *moet* zijn om aan de voorwaarden voor het ontstaan van leven te voldoen. Sinds het pionierende werk van Bernard Carr en Martin Rees (23) is dit principe nu in groot detail uitgewerkt door Barrow en Tipler (24) in een recent boekwerk, getiteld 'The Anthropic Cosmological Principle'. Ik ga er niet verder op in dan te stellen, dat de uitgewerkte samenhang van vele aspecten van de fysische wereld sterk aansprekend is.

Er is echter in dit verband een onderwerp, waar ik tenslotte kort aandacht aan wil besteden en dat is SETI: The Search for Extra-Terrestrial Intelligence. De Internationale Astronomische Unie (I.A.U.) heeft als gevolg van de niet aflatende lobby van mensen als Frank Drake en Carl Sagan zelfs een commissie van die naam ingesteld. Verder was onder andere Symposium 112 van de I.A.U. (25) in 1984 er ook geheel aan gewijd. Deze lobby maakt zich sterk voor een grootscheepse zoekactie met behulp van radioteleskopen om signalen van ander leven uit de kosmos op te vangen. In de discussies wordt er naar mijn mening te kritiekloos vanuit gegaan, dat het heelal vol met intelligent leven op ander planeten moet zijn. Op het genoemde symposium komen stemmen, die dit standpunt niet zomaar wensen te accepteren, niet aan bod. Met name de auteur Tipler van zojuist genoemd boek heeft op de konsekventies van het anthropisch principe in dit verband gewezen en deze argumenten komen te weinig naar voren, ook bij het grote publiek.

Het niet waargenomen zijn van leven, behalve het onze, in het heelal wordt met diverse kunstmatige argumenten afgedaan. Zo gebruikt men het argument, dat reizen in de ruimte onpraktisch of onmogelijk zou zijn. Dit gaat er natuurlijk vanuit, dat de stand van onze techniek en wetenschap zo ver gevorderd is, dat fundamenteel nieuwe mogelijkheden en verrassingen uitgesloten zijn. Als er ander leven zou zijn, dan is het misschien niet uitgesloten, dat zulke beschavingen wel praktische mogelijkheden gevonden zouden hebben om reizen door de ruimte mogelijk te maken; tenminste voor die helft, waarvan we statistisch mogen verwachten, dat ze slimmer of verder gevorderd zijn dan wij. Er is dan geen enkele reden, waarom geen kolonisatie van de ruimte zou hebben plaatsgevonden en onze aarde niet in dat proces zou zijn opgenomen. Men stelt dan wel, dat wij met rust gelaten zouden worden als een soort reservaat (de zgn. 'Zoo-hypothese') of dat we de kans gegeven worden in isolement te ontwikkelen in voorbereiding op een grootse taak. Als reizen door de ruimte echt niet mogelijk zou zijn, zouden er wel andere methoden van communicatie bestaan. Freeman Dyson bespreekt ook, hoe communicatie zelfs in een open heelal tot ver in de toekomst mogelijk zal zijn. Het is natuurlijk niet van de verder gevorderde beschavingen te verwachten, dat ze niet zouden weten hoe onze aandacht te trekken. Ik concludeer, dat de meest voor de hand liggende, hoewel niet onvermijdelijke gevolgtrekking van het feit, dat we geen enkele indicatie voor buitenaards intelligent leven hebben, inderdaad is, dat zulk leven ook niet bestaat, althans niet in ons Melkwegstelsel.

Het argument ter ondersteuning van SETI gaat er meestal van uit, dat er in ons melkwegstelsel zo'n 10^{11} sterren zijn en in het waarneembare heelal minstens 10^{12} melkwegstelsels. Waarom dan onder die 10^{23} sterren alleen leven op deze planeet rond onze zon? Volgens het anthropisch principe nu *moet*, zoals we boven gezien hebben, het heelal wel 10^{10} jaar oud zijn en daarom dus ook zo groot als beschreven om leven alleen al op een enkele plaats mogelijk te maken. Of het daarom niet elders gebeurt, weet ik niet en ik wil het zeker niet uitsluiten, maar de onmetelijke grootte van het heelal is nog niet het doorslaggevende argument om een projekt als SETI te ondernemen. In ieder geval zijn de kansen niet noodzakelijk zo rooskleurig, als in de voorstellen daartoe wel wordt voorgespiegeld.

Samenvattend: Het anthropisch principe verklaart de structuur van het heelal en de fysische wetten en principes als precies die, die nodig zijn om waarnemers als wij mogelijk te maken. Het is dan niet uitgesloten, dat

intelligent leven als op aarde uniek is in ons Melkwegstelsel of misschien wel in het gehele heelal.

Tot slot: Als we dus vragen: 'Welke ster is de mijne?', dan is mijn antwoord: 'In zekere zin allemaal, want we zijn een produkt en een deel van een veel groter kosmisch proces dan ons mensenleven op deze planeet'. Het fascinerende doel, dat de astronomie zich stelt, is dit proces fysisch te onderzoeken en beschrijven.

Tenslotte wil ik nog enige persoonlijke woorden spreken.

In de eerste plaats dank ik het *College van Bestuur* en het *College van Decanen* van deze universiteit voor het in mij gestelde vertrouwen bij mijn benoeming tot hoogleraar in de sterrenkunde.

Waarde Oort. Behalve promotor bent u voor mij een bron van inspiratie geweest tijdens mijn studie en ook daarna. Ik herinner me de grote opwinding, die ik waarnam, toen ik in 1968 in Leiden op uw kamer kwam voor een gesprek over mijn onderzoek. Die middag had u juist vernomen van de ontdekking van de pulsars en had u al uitgerekend, dat het neutronensterren moesten zijn. Ook uw aanstekelijk enthousiasme en de aansporingen in de vroege Westerbork dagen, toen we aan M51 en NGC 4258 werkten, zullen me bijblijven.

Waarde van der Laan. Jij bent het geweest, die het me mogelijk maakte na het voltooien van mijn proefschrift-onderzoek ten volle van de fantastische mogelijkheden van Westerbork gebruik te maken in plaats van de wapenrok aan te trekken. Ik hoop een waardig opvolger van je te zijn als voorzitter van de Stichting Radio-straling van Zon en Melkweg en als voorzitter van de Stuurgroep Brits-Nederlandse Samenwerking.

Waarde van Woerden. Je hebt tertijd een belangrijke rol gespeeld bij mijn aanstelling in Groningen en nu in mijn benoeming tot hoogleraar. Ik dank je daar hartelijk voor. Ik verheug mij op een vruchtbare samenwerking, met name in onze bestuurlijke taken.

Leden van de Afdeling Sterrenkunde. Ik dank u voor de vele interacties in mijn dertien jaar in Groningen en betrek daarin ook de collega's Ekers, Allen en Goss, die ons verlieten. Ik heb alle vrijheid gehad mij wetenschappelijk te ontplooien en o.a. met de oppervlakte-fotometrie en optische spectroscopie een weg in te slaan, die in Groningen niet begaan werd. Het is me een voorrecht met u te kunnen samenwerken in een open, collegiale sfeer en ik zal eraan bijdragen, dat we deze uitstekende atmosfeer op ons instituut behouden.

Leden van de Nederlandse Astronomische Gemeenschap. Nederland is vanouds een leidinggevende natie in de astronomie, met name in het onderzoek van de vorming, structuur en evolutie van ons en andere melkwegstelsels. Deze traditie is historisch sterk verbonden met Groningen en Leiden dankzij mensen als Kapteyn en Oort. Astronomie is een sterk op waarnemingen gestoelde wetenschap en in de moderne fase van multispectrale benadering beschikken we nu over een groot scala van faciliteiten van wereldklasse. Ik noem onze eigen Westerbork SRT met unieke moge-

lijkheden, ook in Europees en wereldwijd verband in het kader van Very Long Baseline Interferometry. Verder hebben we aandeel in de European Southern Observatory met geavanceerde optische telescopen in Chili en in de negentiger jaren de uit vier 8-meter telescopen bestaande Very Large Telescope, de Brits - Nederlandse samenwerking op La Palma, Canarische Eilanden voor het optisch en Mauna Kea, Hawaii voor het (sub)millimeter en infrarode werk, het ruimteonderzoek met met name IRAS en via de European Space Agency met de International Ultraviolet Explorer, de Röntgen satelliet EXOSAT en straks onder andere Hipparcos, Infrared Space Observatory en de Hubble Space Telescope. Het is me een eer mede een leidinggevende rol te spelen in de verdere exploitatie en uitbouw van deze fantastische mogelijkheden.

Dames en Heren Studenten. Zolang ik in Groningen werk, mocht ik voor u college's verzorgen en u begeleiden bij uw studie. Het is daarbij vooral mijn intentie geweest u iets te laten meebeleven van de uitdaging het heelal fysisch te bestuderen. In de toekomst hoop ik u verder te kunnen stimuleren en inspireren.

Tenslotte zeg ik graag dank aan mijn *ouders* voor hun opvoeding en de ruimte mij naar eigen persoonlijkheid te kunnen ontplooien. Ook denk ik daarbij aan mijn geestelijke opvoeding, waarin ik werd gericht op het medemenselijke in het leven. Mijn *vrouw* dank ik speciaal voor haar geduld en medewerking, die het mogelijk maakten om mijn wetenschappelijke taken te kunnen vervullen, waarbij vooral de soms lange afwezigheid voor waarneem- en andere reizen een zware belasting waren; ook hielp ze mij het betrekkelijke van de wetenschapsbeoefening in te zien en me van tijd tot tijd op andere zaken en taken te richten. Tenslotte dank ik mijn *kinderen* Vera, Sylvia en Maurits, onder andere ook voor de onbewust gegeven titel van deze oratie.

Ik heb gezegd.

Literatuurverwijzingen:

- (1) P.C. van der Kruit & H.C.Arp, I.A.U. Circular No. 2641 (1974).
- (2) The Gallop Poll, '32 Million Look to Stars for Help in Conducting Daily Affairs', Gallop Opinion Index, July 1976, pp 25-27. See also H. Kruglak & M. O'Bryan, Mercury (Nov. - Dec. 1977), p 18.
- (3) R.B. Culver & P.A. Ianna: 'The Gemini Syndrome: A Scientific Evaluation of Astrology', Buffalo: Prometheus Books (1984).
- (4) The Humanist 35, 4 (1975); The New York Times (Sept. 3, 1975); zie ook: B. Bok & L. Jerome: 'Objections to Astrology', Buffalo: Prometheus Books (1975).
- (5) S. Carlson, Nature 318, 419 (1985).
- (6) M.S. Roberts & R.N. Whitehurst, Astrophysical Journal 201, 327 (1975).
- (7) Zie bij voorbeeld: A. Bosma, Proefschrift R.U.G. (1978); A. Bosma & P.C. van der Kruit, Astronomy & Astrophysics 79, 281 (1979); P.C. van der Kruit, Astronomy & Astrophysics 99, 298 (1981); T.S. van Albada, J.N. Bahcall, K. Begeman & R. Sancisi, Astrophysical Journal 295, 305 (1985); K. Begeman, Proefschrift R.U.G. (1987).
- (8) S.M. Fall & G. Efstathiou, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 193, 189 (1980).
- (9) P.C. van der Kruit, Astronomy & Astrophysics 173, 59 (1987).
- (10) W. Baade, Astrophysical Journal 100, 137 (1944).
- (11) P.C. van der Kruit & L. Searle, Astronomy & Astrophysics 95, 105 & 116 (1981) en 110, 61 & 79 (1982).
- (12) P.C. van der Kruit, In: 'The Galaxy', ed. G. Gilmore & B. Carswell, Dordrecht: Reidel, p 27 (1987).
- (13) D. Lynden-Bell, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 136, 101 (1967).
- (14) T.S.van Albada, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 201, 939 (1982).

- (15) G. Gilmore & N. Reid, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **202**, 1025 (1983); G. Gilmore & R.F.G. Wyse, *Nature* **322**, 806 (1986).
- (16) G. de Vaucouleurs, *Annales d'Astrophysique* **11**, 247 (1948); K.C. Freeman, *Astrophysical Journal* **160**, 811 (1970).
- (17) L. Mestel, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **126**, 553 (1963).
- (18) J.E. Gunn, In: 'Astrophysical Cosmology', ed. H.A. Brück, G.V. Coyne & M.S. Longair, Pont. Acad. Sci. Vatican, p 233 (1982).
- (19) R. Sancisi, *Astronomy & Astrophysics* **53**, 159 (1976).
- (20) R. Bottema, G.S. Shostak & P.C. van der Kruit, *Nature* **328**, 401 (1987).
- (21) P.C. van der Kruit & K.C. Freeman, *Astrophysical Journal* **303**, 556 (1986).
- (22) F.J. Dyson, *Reviews of Modern Physics* **51**, 447 (1979).
- (23) B.J. Carr & M.J. Rees, *Nature* **278**, 605 (1979).
- (24) J.D. Barrow & F.J. Tipler: 'The Anthropic Cosmological Principle', Oxford: Clarendon (1986).
- (25) 'The Search for Extraterrestrial Life: Recent Developments', ed. M.D. Papagiannis, Dordrecht: Reidel (1985).

