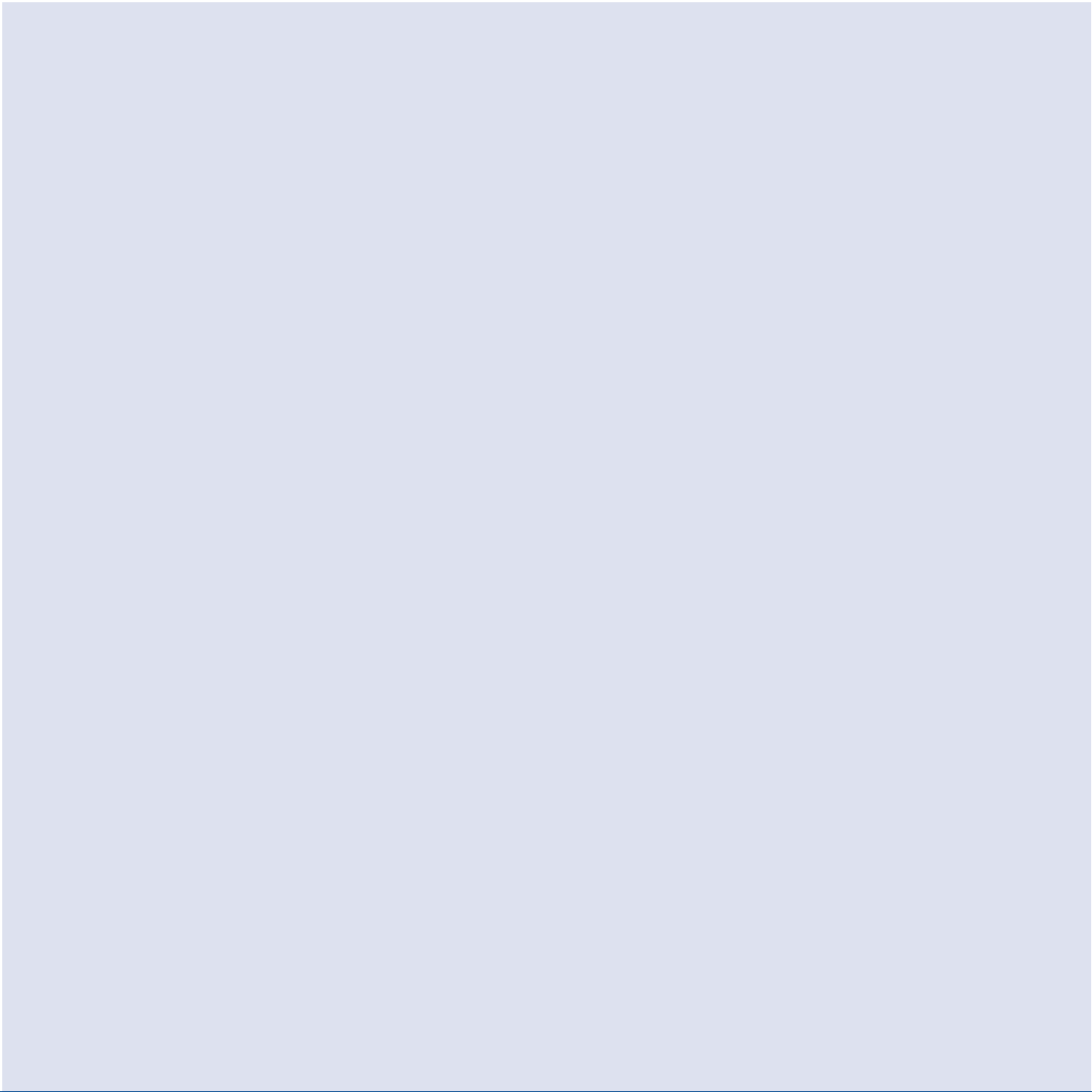


Prof.dr. Ewine F. van Dishoeck

Nieuwe Werelden



Universiteit Leiden



Nieuwe Werelden

Diesrede uitgesproken door

Prof.dr. Ewine F. van Dishoeck

hoogleraar in de Moleculaire Astrofysica

tijdens de 434^e dies natalis

op maandag 9 februari 2009 in de Pieterskerk.



Universiteit Leiden

Mijnheer de Rector, zeer gewaardeerde toehoorders,

Het is 20 oktober 1995: op de voorpagina van de New York Times staat een grote kop: ‘2 sightings of planet orbiting a sun-like star challenge notions that Earth is unique’. Precies twee weken eerder hadden Zwitserse astronomen op een conferentie in Italië de ontdekking aangekondigd van de eerste zogeheten exoplaneet rond de ster 51 Pegasi.¹ Dat is een ster als onze Zon, maar dan op 50 lichtjaar afstand van de Aarde in plaats van 8 lichtminuten. De ontdekking ging uiteraard direct als een vuurtje over de hele wereld, en Amerikaanse astronomen konden al een week later de ontdekking van de Jupiter-achtige planeet met nieuwe, onafhankelijke waarnemingen bevestigen. Zij konden dit zo snel doen omdat ze onmiddellijke toegang hadden tot een privé telescoop in Californië en niet zoals de meeste astronomen een jaar van te voren een aanvraag hoefden in te dienen voor waarneemtijd. De bevestiging van de ontdekking van de eerste planeet rond een andere ster was wereldschokkend en revolutionair nieuws, met vergaande gevolgen voor de wetenschap en zelfs de mensheid als geheel. Hoewel men al eeuwenlang gespeculeerd had over planeten buiten ons zonnestelsel, werd nu in één klap definitief afgerekend met de illusie dat ons zonnestelsel uniek is in het Heelal.

Exoplaneten

De ontdekking van deze ‘nieuwe wereld’ gooide meer aspecten van ons kosmisch wereldbeeld omver: de planeet, die half zo zwaar is als Jupiter, bleek niet op een respectabele afstand van de ster te staan, maar juist heel dicht bij de ster zijn snelle omlopen te volbrengen. Jupiter draait in zo’n 12 jaar rond onze Zon. De exoplaneet cirkelt in slechts 4 dagen rond 51 Pegasi. Theoretici hadden al decennia lang prachtige verklaringen

gegeven waarom Jupiter in ons zonnestelsel op precies 5,5 astronomische eenheden van de Zon staat, d.w.z. op 5,5 maal de afstand van de Aarde tot de Zon (zo’n $5,5 \times 150 = 825$ miljoen km). Maar nu moesten alle conventionele theorieën in één keer op de schop en het ene na het andere onbeproeft scenario werd naar voren gebracht om de nieuwe wereld te verklaren. Dit is een belangrijke les voor iedere onderzoeker: zoek niet alleen naar datgene dat jij of je collegae verwachten te zien, maar sta altijd open voor nieuwe verrassende resultaten. Heraclitus van Ephesus zei al zo’n 5 eeuwen voor Christus: “Als je het onverwachte niet verwacht, zul je het ook niet vinden”. In dit geval was de ontdekking achteraf gezien niet moeilijk, want het signaal was sterk. Ook bleek de Amerikaanse groep allang gegevens te hebben die het bestaan van exoplaneten verrieden; men had de gegevens alleen nooit geanalyseerd met zulke snelle omlopen in gedachte. Studenten en promovendi: soms is het makkelijker dan je denkt om beroemd te worden! Of zoals de fysisicus Leo Szilard zei “If you want to succeed in this world, you don’t have to be much cleverer than other people, you just have to be one day earlier”. Het zijn juist dit soort nieuwe onverwachte resultaten die de natuurwetenschappen zo spannend en leuk maken.

Na de ontdekking van de planeet rond 51 Pegasi volgde een vloedgolf van nieuwe exoplaneten. Nu, ruim een decennium later, zijn er zo’n 300 exoplaneten ontdekt en is het één van de snelst groeiende takken van de astronomie. Eén van die 300 planeten is onlangs door een groep Leidse bachelor studenten gevonden²; zij mochten hun verhaal op tv bij ‘De wereld draait door’ komen vertellen en hebben er vorige maand de facultaire onderzoeksprijs voor gekregen. Exoplaneten blijken in alle soorten en maten voor te komen. Sommige draaien net als de planeet rond 51 Pegasi in een cirkelvormige baan vlakbij de

ster, andere bevinden zich in een elliptische, uitgerekte baan op veel grotere afstand van de ster. Bij sommige sterren is men er zelfs al in geslaagd een stelsel van drie of meer planeten op verschillende afstanden te vinden.

Het merendeel van die 300 planeten is indirect waargenomen via de periodieke beweging die ze teweegbrengen bij de ster. Onze Zon staat ook niet helemaal stil, maar schommelt een beetje rond het massamiddelpunt van ons zonnestelsel omdat vooral Jupiter - de zwaarste planeet in ons zonnestelsel - er een klein beetje aan trekt. De gevoeligheid van deze techniek is evenredig met de massa van de planeet: grote bewegingen zijn makkelijker te meten dan kleine bewegingen. Tot nu toe is de limiet van wat we nog net kunnen zien ongeveer 5-10 keer de massa van de Aarde. Met andere woorden: gasrijke planeten zoals Jupiter, Saturnus, Neptunus en Uranus kunnen wel worden gevonden, rotsachtige planeten zoals de Aarde, Mars en Venus die zo'n 500 keer lichter zijn (nog) niet. Daarnaast speelt de omlooptijd een rol: het volgen van een baan op de afstand van Jupiter neemt bijna 12 jaar, op die van Neptunus 165 jaar. Nauwkeurige instrumenten om de bewegingen van de sterren te meten bestaan pas zo'n 15 jaar, dus men begint nu pas net gevoelig te worden voor planeten die op zo'n 5 astronomische eenheden van hun ster staan. Al met al is het duidelijk dat ons beeld van de exoplanetaire werelden nog heel onvolledig is. De drijfveer voor de bouw van veel toekomstige telescopen is dan ook om dit beeld meer compleet te maken. Een directe foto van een tweeling van de Aarde is het uiteindelijke doel. Dat doel is twee maanden geleden een stuk dichterbij gekomen met de publicatie van de eerste directe afbeeldingen van een tweetal exoplanetenstelsels.

Intermezzo 1. Astronomie en kunst

Eén van mijn hobby's is astronomie en kunst. Bij ons thuis hangt een ets uit 1798 getiteld 'Universal Solar System' (Figuur 1). Deze prent illustreert wat veel wetenschappers rond die tijd al vermoedden: andere planetenstelsels hoeven helemaal niet op ons zonnestelsel te lijken. Sommige hebben meer, andere minder planeten; sommige staan dichterbij de ster, andere verderop. Pas nu, ruim 2 eeuwen later, is dit vermoeden daadwerkelijk bewezen. Het is daarom heel toepasselijk dat deze ets in april 2004 op de voorkant van de speciale editie over exoplaneten van het gezaghebbende maandblad *Physics Today* stond. Tijdens deze oratie zal ik op gepaste plaatsen een paar andere voorbeelden tonen hoe de sterrenkunde en de kunst hand-in-hand gaan, en hoe kunstenaars inspiratie uit de nachthemel hebben geput. Urania, één van de negen Muzen uit de Griekse mythologie, is de muze van de sterrenkunde, en dit onderstreept dat deze wetenschap óók een klassieke kunst is



Figuur 1: Engelse gravure uit 1798 getiteld 'Universal Solar System'. Ons eigen zonnestelsel staat in het middelste paneel afgebeeld, en toont de 7 planeten die in die tijd bekend waren plus enkele kometen. In de overige panelen speculeert de artiest hoe andere planetenstelsels eruit zouden kunnen zien. Collectie E.F. van Dishoeck en P.T. de Zeeuw.

Vorming van sterren en planeten

Het karakteriseren van nieuwe werelden is natuurlijk een belangrijke tak van onderzoek. Maar de huidige exoplaneten stelsels zijn eigenlijk maar saai. Er gebeurt al miljarden jaren niets meer - die planeten draaien gewoon hun rondjes - en ook de komende paar miljard jaar zal er weinig veranderen. Minstens even interessant is de vraag hoe deze grote verscheidenheid aan planeten tot stand is gekomen en of alle sterren een planetenstelsel om zich heen kunnen hebben. Het antwoord ligt besloten in de ontstaansgeschiedenis van de planeten, en daarmee raakt deze vraag direct aan mijn eigen onderzoek.³

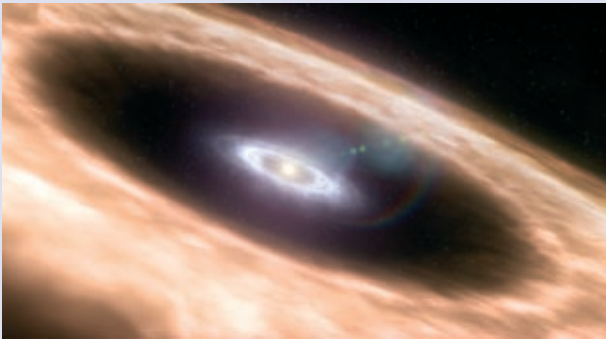
6 Sterren en planeten worden geboren in de ijle wolken die zich overal tussen de sterren in onze Melkweg bevinden. Sterren hebben niet het eeuwige leven: ze ontstaan en verdwijnen ook weer zodra de brandstof voor kernfusie uitgeput is. In onze Melkweg - een sterrenstelsel op middelbare leeftijd - worden zo'n 3 zonnen per jaar geboren. Mijn collegae bij de Leidse Sterrewacht bestuderen veel jongere sterrenstelsels in het vroege Heelal waar lang geleden een geboortegolf van wel 1000 zonnen per jaar plaatsvond.

De interstellaire wolken bestaan uit gas (99% qua massa, meest waterstof en helium) en kleine stofdeeltjes (1% qua massa, vooral silicaten en koolstofachtige verbindingen) van ongeveer een tienduizendste millimeter grootte, ruim duizend keer kleiner dan een zandkorreltje op het strand. De stofdeeltjes absorberen en verstrooien het licht van achterliggende sterren waardoor de straling niet of nauwelijks in de wolken kan doordringen, net zoals rookdeeltjes ervoor zorgen dat we niet ver kunnen kijken in een rokerig café. De wolken zijn daarom donker op foto's die in zichtbaar licht gemaakt zijn, d.w.z., het licht dat we met onze eigen ogen kunnen zien.

De wolken van gas en stof tussen de sterren kunnen zichzelf maar zo'n 10 miljoen jaar in een fragiel evenwicht houden, en storten op een gegeven moment onder hun eigen gewicht ineem. Hierbij ontstaat een protoster in het centrum van de wolk. In de eerste honderdduizend jaar blijft nog materiaal uit de wolk op de jonge ster regenen, waardoor deze blijft groeien. Op een gegeven moment stopt de inval omdat de wolk door de wind van de jonge ster uiteen is gedreven. De Spaanse schilder Joan Miró heeft veel schilderijen van astronomische objecten gemaakt, en geeft een interessant beeld in zijn 'Geboorte van de wereld'. Alhoewel het belang van donkere interstellaire wolken voor de vorming van sterren ten tijde van het schilderij, 1925, nog niet duidelijk was, komt ook Miró's nieuwe wereld uit een zwarte cocon, die zelfs met vooruitziende blik niet rond is geschilderd. Ook is de jonge Zon in dit schilderij terecht rood: we kunnen een jonge ster die nog in zijn kosmische wieg ligt alleen met infrarode telescopen waarnemen.

Omdat de wolk altijd wel een klein beetje hoekmoment ('draaiing') heeft, kan het materiaal niet van alle kanten recht op de ster blijven vallen, maar komt het merendeel in een roterende platte schijf rond de ster terecht. Het bestaan van zulke circumstellaire schijven was al bedacht door Emmanuel Kant in 1755 omdat alle planeten in ons zonnestelsel in één vlak liggen en dezelfde kant opdraaien. Heel lang kwam men niet verder dan dit beeld van onze Oernevel. Pas zo'n 40 jaar geleden zijn meer gedetailleerde theorieën over planeetvorming ontwikkeld. In het meest gangbare scenario klitten de stofdeeltjes in de schijf aaneen tot steeds grotere en grotere rotsblokken, die uiteindelijk planeten worden. Hoe dit precies gebeurt is overigens nog een raadsel: twee bakstenen blijven niet zomaar aan elkaar plakken. De meest massieve protoplaneten trekken het gas aan, en vormen daarmee gasrijke planeten zoals Jupiter.

In een alternatieve theorie worden Jupiter-achtige planeten gevormd door instabiliteiten in de schijf waarbij fragmentatie optreedt. Zoals iedere goede theorie maakt ze ook voorspellingen die door waarnemingen getest kunnen worden om de theorie te bevestigen of te falsificeren, het hart van wetenschappelijk onderzoek. Zo voorspelt de eerste theorie dat planeten vrij laat in het evolutieproces dichtbij de ster gevormd worden, terwijl de tweede theorie juist het omgekeerde aangeeft. Onlangs hebben wij samen met onze collega's intrigerende nieuwe metingen van de locatie van jonge planeten gepresenteerd die deze theorieën kunnen testen (Figuur 2).⁴



Figuur 2: Schets van een schijf met gas en stof rond een jonge ster.⁴ Nieuwe astronomische waarnemingen laten zien dat sommige schijven een gat in hun stofschijs hebben waarin waarschijnlijk al nieuwe Jupiter-achtige planeten zijn gevormd. De afmetingen van de schijf zijn vergelijkbaar met die van ons eigen zonnestelsel. Credit: European Southern Observatory.

Intermezzo 2: wat is een planeet?

Een steeds belangrijker onderdeel van colleges is het interactief communiceren met de studenten. Deze openbare les in zo'n

grote zaal leent zich daar eigenlijk niet voor, maar ik zou toch graag willen vragen wie van u het verschil tussen een ster en een planeet zou kunnen vertellen? Het antwoord is dat een ster een hete gasbol is die zelf energie produceert door kernfusie van waterstof en andere elementen in zijn kern, en een planeet dat niet doet. Ook het vormingsproces is anders, zoals boven besproken.

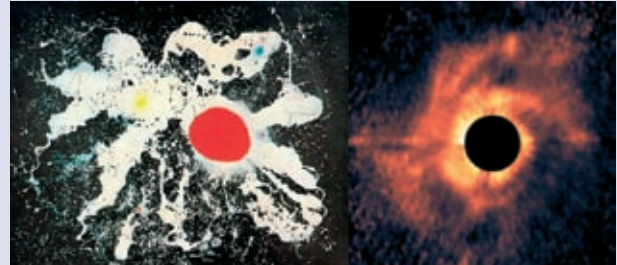
De volgende vraag is minder makkelijk: wat is het verschil tussen een planeet en een groot rotsblok zoals een planetoïde? Deze vraag kan tot verhitte discussies leiden, zoals bleek in 2006 toen astronomen besloten dat Pluto geen 'echte' planeet meer was maar slechts een dwergplaneet. Ik was aanwezig op het wereldcongres in Praag waar deze beslissing viel, en ik kan u verzekeren dat maar weinigen zich bij het begin van de discussies hadden gerealiseerd welke opschudding dit teweeg zou brengen.

De aanleiding voor de onttroning van Pluto was wetenschappelijk zonneklaar: nieuwe waarnemingen brachten aan het licht dat er in het buitenste deel van ons zonnestelsel veel meer grote rotsblokken aanwezig zijn, vergelijkbaar met Pluto (zo'n 2300 km diameter) of zelfs groter. Deze gordel van rotsblokken was overigens al een halve eeuw geleden voorspeld door de Nederlandse astronoom Gerard Kuiper, en een andere gordel die nog verder naar buiten ligt door Jan Hendrik Oort. Zijn dit allemaal planeten? Heeft ons zonnestelsel misschien wel ruim 200 planeten? Na veel discussie werd men het in Praag eens over de definitie: een planeet moet niet alleen om een ster draaien en bolvormig zijn, maar ook voldoende massa hebben om zijn baan rond de ster schoon te vegen van andere objecten. Pluto voldoet niet aan dit laatste criterium, waardoor het zijn status als planeet verloor. De meeste astronomen

konden zich hier wel in vinden, maar aan een breed publiek uitleggen dat wetenschappers door voortschrijdend inzicht soms eerdere beweringen moeten terugtrekken bleek veel moeilijker dan gedacht. Toch is dit de kern van de wetenschapsbeoefening. De nieuwe definitie heeft overigens wel als voordeel dat schoolkinderen voortaan de namen van slechts 8, en niet ruim 200, planeten uit hun hoofd hoeven te leren.

Bouwstenen voor planeten

De schijven rond jonge sterren waarin planeten worden gevormd zijn pas zo'n 15 jaar geleden voor het eerst in beeld gebracht, ongeveer op hetzelfde moment dat de eerste exoplaneten werden ontdekt. Het heeft zo lang geduurd omdat deze schijven veel kleiner en zwakker zijn dan de wolken waaruit de sterren gevormd worden, en door het sterlicht makkelijk overstraald worden. Inmiddels is het detecteren van schijven een routineklus geworden en weten we dat vrijwel alle sterren in onze Melkweg met zo'n schijf geboren worden. Meestal bevatten ze voldoende materiaal om een zonnestelsel zoals dat van ons te vormen, waarvoor ongeveer 10 keer de massa van Jupiter nodig is. Het in kaart brengen van de structuur van de schijven is echter veel moeilijker en wacht op een nieuwe generatie telescopen die ik later zal beschrijven. De schijven hoeven niet regelmatig te zijn, maar kunnen lijken op het schilderij 'De rode schijf' van Joan Miró, dat qua structuur verbluffend veel overeenkomt met een recente opname van een jonge schijf met asymmetrische spiraalvormen (Figuur 3).



Figuur 3: Links: Het schilderij 'De Rode Schijf' van Joan Miró (1960). Credit: Famous Artist Gallery.Com. Rechts: Infrarode foto van een stoffige schijf rond de jonge ster AB Aurigae, gemaakt met de Subaru Telescoop (2004). Het licht van de ster zelf is door een coronograaf afgeschermd. De diameter van de stofschijf is ongeveer 500 astronomische eenheden. De afstand tot de ster is 470 lichtjaar. Credit: Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan.

Welke ingrediënten zijn beschikbaar om planeten te bouwen in de schijven? In tegenstelling tot natuurkundigen of scheikundigen kunnen astronomen niet ter plaatse het object bestuderen. We kunnen niet even in het 'starship USS Enterprise' met 'Warp 9' naar een verre stofwolk vliegen en daar bijvoorbeeld de temperatuur iets verhogen of een paar stofjes toevoegen, en kijken wat het effect is. Al onze kennis wordt indirect verkregen uit de straling die de objecten zelf uitzenden.

Volgens de wetten van de quantummechanica kan ieder atoom of molecuul maar bij een beperkt aantal specifieke golflengten stralen. Daardoor heeft het een unieke vingerafdruk waarmee we het kunnen identificeren zowel in de ruimte als op Aarde. De voornaamste banden liggen in het infrarode en microgolfgebied, dus 'luisteren' astrochemici bij langere golflengten dan die van het zichtbare licht. Een groot voordeel is daarbij

dat de stoffige gebieden op deze lange golflengten doorzichtig zijn zodat we alle processen diep in de wolk of schijf kunnen bestuderen. Zo geeft de vorm van de band informatie over de bewegingen in de wolk (inval, uitstroom, rotatie) en is de relatieve sterkte een aanwijzing voor temperatuur en druk. Door een groot golflengtegebied af te scannen kunnen we inventariseren welke moleculen al dan niet aanwezig zijn.

Bouwstenen voor leven

Stervormingsgebieden blijken een verrassend rijke chemie te hebben, variërend van simpele verbindingen zoals koolstofmonoxide tot nogal complexe organische verbindingen zoals methylformaat (HCOOCH_3) en ethyleenglycol ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$), beter bekend als anti-vries.³ Sommige van die verbindingen zijn van pre-biotische aard, d.w.z., ze spelen een rol in het totstandkomen van leven. Goede voorbeelden daarvan zijn moleculen zoals acetamide (CH_3CONH_2), het grootste interstellaire molecuul met een peptide binding, en acetonitriël ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CN}$), een directe voorloper van het simpelste aminozuur glycine. Glycine zelf is nog niet overtuigend gevonden, alhoewel dat in de literatuur en in de pers al wel vaak geroepen is. Onze groep heeft een paar jaar geleden enorme hoeveelheden blauwzuur en acetyleen gevonden in de binnenste delen van schijven waar planeten worden gevormd.⁵ Blauwzuur, HCN, is een heel giftige stof op Aarde, maar 6 HCN moleculen bij elkaar kunnen het aminozuur adenine vormen.

Astrochemici denken nu dat het merendeel van de complexe moleculen gevormd is aan de oppervlakken van de koude stofdeeltjes. Tijdens de ineenstorting van een wolk worden de dichtheden namelijk zo hoog dat vrijwel alle gassen (behalve waterstof zelf) botsen met een koud stofdeeltje en erop vastvriezen, net als water uit de lucht tijdens een vriesnacht een

ijslaagje vormt op een autoruit. De temperaturen zijn maar net iets boven het absolute nulpunt, -250°C . Deze chemische netwerken zijn al meer dan 20 jaar geleden voorgesteld door mijn Leidse collega Tielens, maar de reacties zijn pas onlangs voor het eerst in het Raymond and Beverly Sackler laboratorium in Leiden onder leiding van collega Linnartz gemeten. Zo zijn we er vorig jaar in geslaagd om alcohol (ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) te destilleren uit een cocktail van waterstofatomen en gesimuleerd ruimte ijs. Ethanol wordt ruimschoots waargenomen in stervormingsgebieden: de Orion-nebel bevat voldoende ethanol om zo'n 10^{26} flessen whiskey te maken! Toch is de concentratie ten opzichte van water niet hoog, slechts 2%. Het ijs in de ruimte dus wel 'ice light'.⁶

Water

Water (H_2O) is ongetwijfeld één van de meest belangrijke moleculen in het ontstaan van leven.⁷ Leven op Aarde - en waarschijnlijk ook op aardachtige planeten elders in het Heelal - is niet mogelijk zonder water. Zoals Thales van Milete in de zesde eeuw voor Christus schreef: "Water is de basis, de oerstof van alle dingen". Alle scheikunde van het leven speelt zich af in water. Zowel de geologie als het klimaat van onze planeet worden bepaald door water. Leonardo da Vinci had een enorme fascinatie met water en illustreerde dit met zijn tekening 'Water is het bloed van de planeet'.

Op Aarde kennen we water in drie vormen: gas (waterdamp of 'stoom'), vloeistof ('water') en vaste stof ('ijs'). In de interstellaire ruimte komt vloeibaar water niet voor vanwege de te lage druk. We denken dat in het Heelal water voornamelijk gemaakt wordt op de stofdeeltjes in koude wolken door reacties van zuurstof- en waterstofatomen. Een eenmaal gevormde jonge ster verhit geleidelijk het omringende stof

zo sterk dat de ijslaagjes gaan verdampen. In de ijle ruimte ligt deze verdampingstemperatuur veel lager dan op Aarde, rond -160°C in plaats van 0°C . Denk maar aan het koken van water in de bergen vergeleken met zeeniveau: op de top van de Mont Blanc ligt het kookpunt bij 85°C , op de top van Mount Everest bij 73°C . Met de Infrared Space Observatory (ISO), die van 1995-1998 in de ruimte vloog, hebben we deze overgang van water-ijs naar water-gas voor het eerst prachtig kunnen waarnemen nabij de helderste en zwaarste jonge sterren zoals bijvoorbeeld die in de Orion-nevel. Eén zo'n wolk bevat evenveel water moleculen als een miljoen oceanen op Aarde! Met de Herschel Space Observatory, die later dit jaar gelanceerd zal worden, zullen we de vorming en evolutie van water kunnen volgen bij lichte sterren vergelijkbaar met onze jonge Zon, en tot ver in de schijven waar planeten gevormd worden. Met de Spitzer Space Telescope hebben we onlangs onverwacht heet water (stoom van 500°C) gevonden in de binnenste delen van zulke schijven. Dat doet ons vermoeden dat er ruimschoots water voorhanden is in de gebieden waar planeten worden gevormd.

Oorsprong van water op Aarde en exoplaneten

Hoe komt al dit water uit een schijf van gas en stof op een nieuwe wereld? De jonge Aarde was in het begin zo heet dat al het oorspronkelijke water verdampt en ontsnapt is. Het water moet dus in een later stadium zijn aangevoerd toen de Aarde afgekoeld was. Inslagen van kometen zijn één mogelijkheid. Kometen zijn blokken van rots en ijs van een paar km grootte die als overtollig bouw materiaal bij de vorming van planeten zijn overgebleven. Ze hebben het merendeel van hun 4,5 miljard jarig bestaan in het allerbuitenste (>50 astronomische eenheden) en zeer koude deel van ons zonnestelsel doorgebracht en zijn dus als bodes uit die vroege tijd. Kometen worden ook al

eeuwenlang afgebeeld in de kunst, zoals in het beroemde tapijt van Bayeux en in een meer modern schilderij van Kandinsky.

Vergelijking van de hoeveelheid 'zwaar' water (HDO) met dat van gewoon water suggereert echter dat niet al het water op Aarde afkomstig is van kometen: planetoiden in het binnenste deel van onze Oernevel hebben waarschijnlijk ook een rol gespeeld. Onze oceanen zijn dus letterlijk 'Cosmic oceans', zoals afgebeeld op het krachtige mozaïek van de Deense kunstenaar Carl-Henning Pedersen dat in de grote hal van het H.C. Ørsted instituut in Kopenhagen pronkt. De watermoleculen die we nu in de Noordzee zien, of die nu in de cellen van uw lichaam zitten, zijn dus zo'n 4,5 miljard jaar geleden gemaakt op de kleine stofdeeltjes in de wolk waaruit ons zonnestelsel is gevormd.

Waarom zijn er nog wel oceanen op Aarde, maar niet of niet meer op Venus of Mars? De Aarde bevindt zich in de zogenaamde 'bewoonbare zone', waar het niet te heet en niet te koud is voor vloeibaar water; Venus en Mars liggen daar net buiten. Christiaan Huygens realiseerde al het belang van vloeibaar water voor leven in zijn Kosmotheoros in 1698, waarin hij beredeneerde dat dit voor Jupiter en Saturnus niet mogelijk was. Zoektochten naar exoplaneten richten zich in de toekomst daarom vooral op aardachtige planeten in de bewoonbare zone rond hun ster, want dat zijn immers de planeten waarop de kans op het ontstaan van leven het grootst is. Uiteindelijk hoopt men ook de samenstelling van de atmosfeer van dat soort aardachtige planeten te meten en aan de hand van de aanwezigheid van zogeheten 'bio-markers' (ozon, zuurstof, water) vast te stellen of er al dan niet leven is. Zo is onlangs de aanwezigheid van methaangas in de atmosfeer van Mars aangevoerd als een mogelijke aanwijzing voor micro-organismen die onder het oppervlak leven.

De chemische kringloop

Wat kunnen we nu zeggen over de kans om leven elders in het heelal aan te treffen? Zoals hierboven al gezegd weten we sinds een jaar of 10 dat vrijwel alle jonge sterren een schijf van gas en stof om zich hebben waaruit planeten kunnen worden gevormd. Ook vinden we bijna overal prebiotische moleculen en water in de wolken. Het materiaal om planeten en leven te vormen is dus ruimschoots aanwezig. Ons Melkwegstelsel bevat een paar honderd miljard sterren, en onze Melkweg is maar één van de honderden miljarden sterrenstelsels in het Heelal. Er zijn dus kansen te over.

Bovendien komen er ook steeds meer biologisch belangrijke elementen bij: de kernreactor binnen in een ster maakt zware elementen zoals koolstof en zuurstof uit waterstof en helium. Als een ster uitdooft blaast hij een groot deel van zijn materiaal de ruimte in. Dit verrijkte gas wordt gebruikt om de volgende generatie sterren en planeten te vormen. Hier komt Carl Sagan's beroemde uitspraak "Wij zijn allemaal sterrenstof" vandaan. De eerste sterren in het Heelal hadden geen organisch materiaal tot hun beschikking, maar het gas in onze Melkweg profiteert inmiddels van vele generaties sterdood.

Het antwoord op de vraag hoe en wanneer uit dit ruwe materiaal leven tot stand komt, kennen we nog niet. Eigenlijk is het nu aan de biochemici en biologen om te onderzoeken hoe leven kan ontstaan uit de ingrediënten die we in de ruimte vinden: de nieuwe discipline van de astrobiologie houdt zich hier mee bezig.

Toekomstige telescopen

Vooruitgang in de sterrenkunde wordt vooral mogelijk gemaakt door technische vorderingen. Dankzij grotere

telescopen, gevoeliger detectoren en de ontwikkeling van camera's met miljoenen beeldelementen hebben astronomen in de afgelopen decennia enorme vooruitgang kunnen boeken. Ook de komende 10-20 jaar zien er rooskleurig uit dankzij een aantal nieuwe faciliteiten die op stapel staan.

Allereerst de Herschel Space Observatory, die vanaf later dit jaar voornamelijk zal waarnemen in het ver-infrarode deel van het spectrum dat vanaf de grond helemaal is geblokkeerd door water in onze eigen atmosfeer. Nederland heeft veel geïnvesteerd in deze satelliet, en de bouw van het HIFI instrument is onder leiding van collega De Graauw van SRON (Netherlands Institute for Space Research), en mede verbonden aan de Universiteit Leiden, tot stand gekomen. Ik heb als promovenda al in 1982 mijn eerste bijeenkomst over Herschel bijgewoond. Dit schetst de erg lange tijdschalen om zulke kostbare projecten van typisch een miljard Euro letterlijk van de grond te krijgen. Dit betekent ook dat de huidige generatie astronomen de verantwoordelijkheid heeft om de volgende generatie telescopen nu al op de tekentafel te zetten, net zoals onze voorgangers dat voor ons hebben gedaan, zodat onze wetenschappelijke nazaten er mee kunnen gaan meten.

Een andere nieuwe topfaciliteit waar ik zelf veel tijd en aandacht aan besteed is de Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA), een wereldwijd project om de signalen van 66 radio schotels op een hoogvlakte van 5000 m in Chili met elkaar te verbinden. De techniek is vergelijkbaar met die van de radio synthese-telescoop in Westerbork of van het LOFAR project ook hier in Nederland, maar dan bij veel kortere golf lengten van ongeveer 1 millimeter. Er zijn al tien antennes in Chili aangekomen, en de eerste waarnemingen worden eind 2011 verwacht.

Een derde faciliteit in aanbouw is de James Webb Space Telescope. Deze opvolger van de Hubble Space Telescope is een 6-m telescoop die eind 2013 gelanceerd zal worden. Nederland levert hier onder leiding van de Nederlandse Onderzoeksschool voor Astronomie (NOVA) en Leidse astronomen de optiek voor de mid-infrarode spectrometer. NOVA en Leiden hebben ook de leiding bij het ontwerp van een mid-infrarood instrument voor de Europese Extremely Large Telescope (E-ELT), een 42-m optische telescoop die door de European Southern Observatory (ESO) wordt ontworpen en hopelijk in het komende decennium gerealiseerd kan worden. “Een telescoop met James Bond allure” schreef het NRC Handelsblad vorig jaar na bezoek aan de huidige ESO faciliteiten in Chili, overigens onwetend van het feit dat nog geen 6 maanden later de nieuwe James Bond film, *Quantum of Solace*, daadwerkelijk daar gefilmd zou worden. Wij zijn bijzonder verheugd dat de instrumentatietak van NOVA onlangs geweldig is versterkt met de toezegging van 18.8 miljoen Euro door de minister van OCW uit de ESFRI subsidieronde. We mogen er best trots op zijn dat Nederland, en vooral Leiden, zo’n vooraanstaande rol speelt bij de totstandkoming van al deze faciliteiten van wereldklasse. Het belang van de Leidse sterrenkunde wordt verder geïllustreerd door het feit dat 4 van de 7 directeuren-generaal van de ESO uit Leiden afkomstig zijn, meest recentelijk collega De Zeeuw. En dat terwijl Nederland maar ongeveer ~6% aan de ESO financiën bijdraagt.

De nieuwe telescopen hebben als gemeenschappelijke karakteristiek dat ze veel scherper en gevoeliger kunnen zien dan hun voorgangers. ALMA en de E-ELT hebben zelfs een scherpte die overeenkomt met het lezen van een verkeersbord in Los Angeles vanuit Leiden. Dat is voldoende om de afstand Zon-Aarde in de meest nabije interstellare wolken te

onderscheiden. We kunnen dan dus eindelijk planeetvorming direct in kaart brengen.

Het belang van fundamenteel onderzoek

In onze nieuwe wereld moeten wetenschappers, en dus ook astronomen, zich meer en meer verantwoorden voor het doen van fundamenteel onderzoek. Vragen zoals: “wat is het nut van sterren kijken voor onze maatschappij?” komen keer op keer terug. En, om in de termen van de film-klassiekers te blijven: waarom kost het iedere keer een “fistful of dollars” en waarom kan het niet “for a few dollars more”? Het antwoord op deze vragen is heel helder gegeven in de diesrede van collega Miley in 1998, getiteld ‘De alfa, bèta en gamma van de sterrekunde’.⁸ Alfa: het heelal als het ultieme geschiedenisboek met de astronomie als archeoloog; immers, omdat de snelheid van het licht eindig is betekent dit dat we objecten op grote afstand zien zoals ze er vroeger uitzagen. De Orion-nevel zo’n 1500 jaar geleden; sterrenstelsels aan de rand van het heelal zo’n 12 miljard jaar geleden. Bèta: het astronomisch onderzoek en de technologie, zoals ik hierboven heb besproken. Dit belang geldt niet alleen voor de universiteiten maar ook voor de industrie: de honderden miljoen Euro die voor de bouw van een nieuwe telescoop of satelliet geïnvesteerd worden komen immers voor vrijwel 100% terecht bij de Europese industrie, en stimuleren daarmee de ontwikkeling van hoogwaardige technologie bij bedrijven. Gamma: het diepe verlangen van de mensheid om zijn oorsprong en plaats in het heelal te begrijpen.

Meer in het algemeen kan men het nut van fundamenteel onderzoek in een aantal klassen onderbrengen⁹: (1) culturele bijdragen; (2) mogelijkheid van ontdekkingen van enorme economische en praktische waarde; (3) spin-offs en stimulering van de industrie; en (4) onderwijs. De huidige maatschappij

lijkt vooral aspecten 2 en 3 te benadrukken, mede omdat die makkelijker te meten zijn, maar dat getuigt van erg korte termijn denken. De geschiedenis leert ons het tegenovergestelde: de transistor is niet uitgevonden omdat men behoefte had aan een radio of computer; hij is uitgevonden door onderzoekers die zich bezig hielden met de golfmechanica en de quantumtheorie van vaste stoffen. Zoals keer op keer is bewezen, is de relatie tussen wetenschap en toegepaste technologie in het geheel niet-lineair en wordt vaak gekenmerkt door een lange tijdschaal.

Het belang van punten 1 en 4 is minstens even groot en wetenschappers zouden minder bang moeten zijn om juist de culturele aspecten van het fundamentele onderzoek sterker naar voren te brengen. Dit geldt vooral voor de sterrenkunde, zoals de volgende dialoog illustreert.⁹

“Persoon 1: Zullen we astronomie in het curriculum zetten?

Persoon 2: Dat denk ik wel, want het is nuttig om iets te weten te komen over de seizoenen, de maanden en de jaren voor militaire doeleinden, en ook voor de landbouw en navigatie.

Persoon 1: Ik ben geamuseerd te zien hoe bang je bent dat men je ervan zou kunnen beschuldigen dat je een nutteloze studie aanraadt.”

Weinigen van u zullen zich realiseren dat dit een letterlijk citaat is uit Plato's Republiek, geschreven 380 voor Christus, met persoon 1 Socrates en persoon 2 Glaucon, de oudere broer van Plato.

Ook punt 4, het belang van de universitaire opleiding, wordt tegenwoordig vaak onderschat. Het gaat uiteindelijk niet om het precies kunnen afleiden van de wet van Planck of om

het heel nauwkeurig meten van de massa en leeftijd van het Andromeda sterrenstelsel. Lang niet iedere Master student of promovendus wordt uiteindelijk onderzoeker aan een universiteit: ik ken sterrenkundigen die nu werken aan de toekomstscenario's van Shell of die hoofd van de klimaatdienst bij het KNMI zijn geworden. Het belang voor de maatschappij is dat de universiteit steeds weer nieuwe generaties jonge mensen opleidt die kritisch kunnen denken, weten wat fundamenteel onderzoek is, en zelf nieuwe methoden kunnen ontwikkelen in de wetenschap of daarbuiten. Bij een promotie wordt immers het analytisch vermogen om onafhankelijk nieuwe problemen op te lossen tot het uiterste op de proef gesteld. Dát is waar onze complexe nieuwe wereld echt behoefte aan heeft. Geluiden dat opleidingen alleen levensvatbaar zouden zijn bij een bepaalde minimum-instroom gaan voorbij aan dit algemene belang van de opleidingen. Onderzoek is “door meten tot weten”, maar beleidsmakers moeten niet krampachtig proberen dat “weten te meten”.

Het is daarom geen wonder dat het doen van excellent onderzoek en het trainen en persoonlijk begeleiden van promovendi op het allerhoogste internationale niveau het hoofddoel is van NOVA. Ik ben ook verheugd dat de Universiteit Leiden het gebied 'Fundamentals of Science' tot één van haar profileringsgebieden heeft bestempeld, en ik hoop dat daarmee de bezuinigingen op de eerste-geldstroom-promovendi, die direct het wetenschappelijke hart van de universiteit treffen, tot staan kunnen worden gebracht.

Het jaar van de sterrenkunde

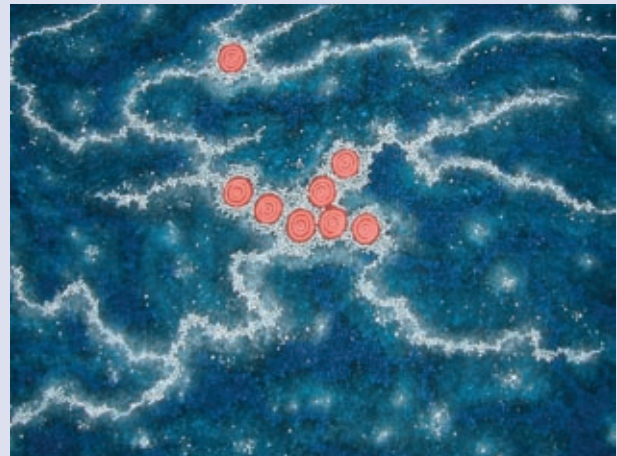
Het jaar 2009 is uitgeroepen tot 'Het Internationale Jaar van de Astronomie', gelanceerd door de Internationale Astronomische Unie en de VN-organisatie Unesco onder het motto: 'Het Heelal:

ontdek het zelf!'. Er zijn evenementen over het hele land, voor jong en oud, en ik kan u de NOVA websites www.astronomie.nl en www.jaarvandesterrenkunde.nl van harte aanbevelen. Eén van die activiteiten is de tentoonstelling over 'Van Gogh en de kleuren van de nacht' die medio februari van het Museum of Modern Art in New York naar Amsterdam zal verhuizen en de beroemde schilderijen 'De Sterrennacht' en 'De Sterrennacht boven de Rhône' bevat.¹⁰ De directe aanleiding voor dit festijn is het feit dat precies 400 jaar geleden Galileo Galilei voor het eerst een telescoop voor astronomische doeleinden heeft gebruikt. Overigens was diezelfde telescoop al een jaar daarvoor in Nederland uitgevonden door de Zeeuwse brillenmaker Hans Lipperhey die er een patent op aanvraag. Juist het culturele aspect van de sterrenkunde wordt tijdens deze activiteiten benadrukt waarbij burgers over de hele wereld worden gestimuleerd om hun plaats in het universum opnieuw te ontdekken en om persoonlijk de pracht van de nachthemel te doorgronden. Immers, als we de hedendaagse problemen in onze wereld bewust kunnen plaatsen naast de immense omvang en verscheidenheid van het Heelal, komen zij in een heel ander perspectief te staan.

Sterrenkunde is ook bij uitstek geschikt om jonge kinderen te interesseren in de natuurwetenschappen in het algemeen. Onderwerpen als leven elders in het heelal, zwarte gaten, de gamma-flitsers (de meest krachtige explosies in het Heelal), donkere materie en donkere energie (die samen 95% van het Heelal uitmaken maar geen direct waarneembaar spoor achterlaten) spreken de jeugd aan. We proberen dit ook vanuit NOVA verder te stimuleren via lesmateriaal en advies aan docenten, net als collega Miley dat doet met zijn 'Universe awareness' programma. Hiermee hopen we het imago van de

natuurwetenschappen als een spannend en leuk vak verder te benadrukken.

Ik wil graag eindigen met een toepasselijk schilderij uit de Australische aboriginal kunst: 'A Milky Way Dreaming' van Gabriella Possum Nungurrayi, dochter van de beroemde aboriginal schilder Clifford Possum (Figuur 4). Een 'dreaming' of 'dreamtime' (droomtijd) vormt de spirituele basis van de aboriginals: het beschrijft een tijd waarin de waarden, symbolen en wetten van de maatschappij zijn gedefiniëerd en geordend en die direct zijn verbonden met de kosmologische visie van de aboriginals op het Heelal. In deze afbeelding zien we het Zevengesternte, de Pleiaden ofwel 'the Seven Sisters', die door hun moeder in het stoffige hart van de Melkweg zijn verstoppt omdat een oude man, Orion (boven in het schilderij) ze achterna zit. In de aboriginal cultuur krijgt een artiest maar



Figuur 4: Schilderij 'A Milky Way Dreaming' van Gabriella Possum Nungurrayi (2001). Collectie E.F. van Dishoeck en P.T. de Zeeuw.

beetje bij beetje het hele verhaal van een ‘dreaming’ van het stamhoofd te horen. Iedere keer dat het thema geschilderd wordt, zijn er meer details en inhoud van het verhaal te zien.

Zo gaat het ook in de sterrenkunde: telkens als er nieuwe en krachtiger telescopen komen wordt er weer een tipje van de sluier van het Heelal opgelicht. Soms gaat het in grote sprongen met verrassende ontdekkingen, soms met kleine stapjes tegelijk. De waarde die wij als maatschappij aan deze beelden van nieuwe werelden in het Heelal hechten bepaalt uiteindelijk ook het culturele erfgoed van onze wereld.

Ik heb gezegd.

Referenties

- 1 M. Mayor & D. Queloz, 1995, ‘A Jupiter-mass companion to a solar-type star’, *Nature*, vol. 378, 355.
- 2 I.A.G. Snellen, R.F.J. van der Burg, M.D.J. de Hoon & F.N. Vuijsje, 2007, *Astronomy & Astrophysics*, vol. 476, 1357-1363; zie persbericht 6 november 2007 ‘Leidse studenten ontdekken mogelijk exoplaneet’ op www.strw.leidenuniv.nl/news/index.php.
- 3 E.F. van Dishoeck, 2002, ‘Oorsprong van sterren, planeten en het leven’, *Zenit*, vol. 29, juni, 262-267.
- 4 K.M. Pontoppidan et al., 2008, *Astrophysical Journal*, vol. 684, 1323-1329; zie persbericht 9 september 2008 ‘Astronomen ‘zien’ planeten in gas rond jonge sterren’ op www.strw.leidenuniv.nl/news/index.php en www.eso.org/public/outreach/press-rel-2008/pr-27-08.html.
- 5 F. Lahuis et al., 2006, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 636, L145-L148; zie persbericht 21 december 2005 op www.astronomie.nl/nieuws/118/acyteleen_en_blauwzuur_bij_jonge_ster_ontdekt.html en www.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2005-26/.
- 6 S.E. Bisschop et al., 2007, *Astronomy & Astrophysics*, vol. 474, 1061-1071; zie persbericht 25 oktober 2007 ‘Astrochemici vinden alcohol in kosmische cocktail’ op www.strw.leidenuniv.nl/news/index.php.
- 7 E.F. van Dishoeck, 2007, ‘Water in het heelal’, *Zenit*, vol. 34, juni, 264-268; zie www.strw.leidenuniv.nl/WISH/outreach.php.
- 8 G.K. Miley, 1998, ‘De alfa, bèta en gamma van de sterrekunde’, Diesrede, Universiteit Leiden.
- 9 C.H. Llewellyn Smith, 1997, ‘What is the use of basic science?’, public.web.cern.ch/public/en/About/BasicScience1-en.html.
- 10 S. Smallenburg, 19 december 2008, ‘De nachten van Vincent van Gogh’, NRC Handelsblad, Cultureel Supplement.

In deze reeks verschijnen teksten van oraties en afscheidscolleges.

Meer informatie over Leidse hoogleraren:
Leidsewetenschappers.Leidenuniv.nl

PROF.DR. EWINE F. VAN DISHOECK



- 1980 - 1984: Promotie Universiteit Leiden
- 1984 - 1987: Junior Fellow, Harvard Society of Fellows
- 1987 - 1988: Visiting professor, Princeton University
- 1988 - 1990: Assistant professor, California Institute of Technology
- 1990 - 1995: UHD Sterrewacht Leiden
- 1995 - nu: Hoogleraar moleculaire astrofysica Sterrewacht Leiden

Prof. dr. Ewine F. van Dishoeck promoveerde in 1984 cum laude aan de Universiteit Leiden. Daarna was zij van 1984-1987 als junior fellow verbonden aan Harvard University, en in 1987-1988 als gastmedewerker aan Princeton University en het Institute for Advanced Study. In 1988 werd zij benoemd tot assistant professor in cosmochemistry aan het California Institute of Technology. Vanaf mei 1990 is zij verbonden aan de Sterrewacht Leiden, eerst als universitair hoofddocent en sinds 1995 als gewoon hoogleraar. Zij zet hier haar interdisciplinaire werk tussen de astronomie, scheikunde en fysica voort, gesteund door een SPINOZA prijs van NWO. Haar huidige onderzoek concentreert zich op de astrochemische evolutie tijdens ster- en planeetvorming. Zij bekleedt veel nationale en internationale bestuurlijke functies en is sinds september 2007 wetenschappelijk directeur van de Nederlandse Onderzoekschool voor Astronomie (NOVA). Vanaf 2008 is zij tevens verbonden aan het Max-Planck Institut für Extraterrestrische Physik in Garching, Duitsland. Zij is lid van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen en buitengewoon (ere)lid van de US National Academy of Sciences, en de American Academy of Arts and Sciences. Zij ontving meerdere binnen- en buitenlandse prijzen voor haar onderzoek.



Universiteit Leiden