



# Water in het heelal

Deze foto, gemaakt met de infrarood-satelliet Spitzer, toont IC 348, een gebied in de moleculaire wolk in Perseus, waarin op dit moment lichte sterren ontstaan. De rode puntbronnen zijn jonge sterren. De uitgestrekte, oranjegele emissie is afkomstig van uiterst kleine stofdeeltjes en grote moleculen, die oplichten onder invloed van de zichtbare en ultraviolette straling van de jonge sterren. De blauwe puntbronnen zijn normale achtergrondsterren. Waarnemingen van water in interstellair gaswolken als deze levert informatie op over de fysische omstandigheden ter plaatse en het verloop van het stervormingsproces (Foto: L. Cieza en het Cores to Disks legacy team, waartoe ook de onderzoeksgroep van de auteur behoort).

Ewine F. van Dishoeck\*

Professor Ewine van Dishoeck leidt de vakgroep Moleculaire Astrofysica aan de Universiteit Leiden. Zij houdt zich onder meer bezig met interstellair gas, de fysische en chemische processen die optreden tijdens het ontstaan van sterren en planeten en submillimeter- en infraroodsterrenkunde. Tevens is zij Principal Investigator van het internationale 'WISH'-team, wat staat voor 'Water In Star-forming regions with Herschel'.

**W**ater is een van de meest fundamentele moleculen in ons heelal. Leven op aarde – en waarschijnlijk ook op aarde-achtige planeten elders in het universum – is niet mogelijk zonder water. Onze cellen bestaan voornamelijk uit water en alle chemie van het leven speelt zich in water af. Zowel de geologie als het klimaat van onze planeet wordt door water bepaald.

Het is dan ook niet zo vreemd dat de mens al van oudsher een fascinatie voor water heeft. Thales van Milete beweerde al in de zesde eeuw voor Christus dat 'alle materie uit water komt', en een andere Griekse natuurfilosoof, Herakleitos (ook bekend als Heraclitus), poneerde de stelling 'panta rei': alles stroomt. Leonardo da Vinci legde het belang van water vast in de woorden 'Water is het bloed van de aarde'.

## **De ingrediënten: H en O**

Water is een eenvoudig molecuul bestaande uit twee waterstofatomen (H) en één zuurstofatoom (O). Alle waterstof in het heelal is vlak na de oerknal gevormd, zo'n

Van alle moleculen die in de ruimte zijn gevonden, is water een van de meest bijzondere. Water speelt een speciale rol bij het onderzoek van verre sterrenstelsels, bij het ontrafelen van de processen tijdens de geboorte van sterren en planeten in de Melkweg, bij de reconstructie van de ontstaansgeschiedenis van ons eigen zonnestelsel en bij het ontstaan van leven op aarde en elders. Al deze onderzoeksgebieden liggen op het terrein van de infraroodsterrenkunde, die eind volgend jaar een nieuwe impuls krijgt met de lancering van de grote Europese satelliet Herschel.

13,7 miljard jaar geleden. Volgens het standaardscenario koelde de oorspronkelijke 'soep' van elementaire deeltjes af door de uitdijning van het heelal. Na ongeveer één minuut ontstonden protonen en neutronen, die uiteindelijk atomen vormden. Via dit proces konden overigens alleen waterstof, deuterium (D), helium (He) en lithium (Li) gevormd worden, maar niet de zwaardere elementen zoals zuurstof.

Fluctuaties in de oersoep leidden tot het ontstaan van concentraties van gas, waterstofwolken, die konden samentrekken tot de eerste sterren. Na minder dan een miljard jaar ontstonden de eerste sterrenstelsels, die uiteindelijk evolueerden tot de volwassen structuren die we vandaag in het heelal zien.

Sterren stralen dankzij de kernfusie van de oeratomen, waarbij zwaardere elementen gevormd worden en veel

energie vrijkomt. Zo leidt fusie van drie heliumkernen tot koolstof (C) en de fusie met nog een heliumkern tot zuurstof (O). Vooral de centrale delen van zwaardere sterren worden voldoende heet om deze processen te laten optreden. Op een gegeven moment is de brandstof echter op en kan de ster zichzelf niet meer in stand houden: hij explodeert als een supernova of blaast de nieuw gevormde elementen via de minder heftige sterrenwind de ruimte in. Het eindresultaat is dat de ruimte tussen de sterren wordt verrijkt met zware elementen die dan weer de grondstof kunnen vormen voor een volgende generatie van sterren.

Deze vorming van zware elementen vindt overal in ons Melkwegstelsel plaats, maar ook – en in een nog veel hoger tempo – in de eerste sterrenstelsels. Dit is zelfs waargenomen met zogeheten millimetertelescopen: eenvoudige moleculen zoals koolmonoxide (CO) zijn al gevonden in jonge sterrenstelsels uit de tijd dat het heelal nog maar vijf procent van zijn huidige leeftijd had. Met andere woorden: de ingrediënten voor water, H en O, waren toen al aanwezig.

## De oorsprong van het water op aarde

Hoewel het er alle schijn van heeft dat alle watermoleculen identiek zijn – twee waterstofatomen die zich met één zuurstofatoom verbonden hebben – is dat niet het geval. Waterstof komt van nature in twee soorten (isotopen) voor, die dezelfde chemische eigenschappen hebben, maar in massa verschillen. De kern van een 'zwaar' waterstofatoom of deuterium bevat een extra neutron. Water dat een deuteriumatoom bevat in plaats van een gewoon waterstofatoom wordt 'zwaar water' genoemd.

Uit laboratoriumexperimenten bij zeer lage temperaturen blijkt dat waterijs dat op grote afstand van de zon ontstaat (voorbij de baan van Neptunus bijvoorbeeld) relatief meer deuterium zal bevatten dan water(ijs) dat dicht bij de zon ontstaat. Dat zou moeten betekenen dat het water op aarde minder deuterium bevat dan dat in kometen, de ijzige rotsblokken van een paar kilometer grootte die het grootste deel van hun bestaan in het buitenste, koude deel van ons zonnestelsel hebben doorgebracht. Recente waarnemingen van kometen als Halley, Hyakutake en Hale-Bopp hebben dat bevestigd: deze kometen bevatten relatief twee keer zo veel zwaar water als de oceanen op onze planeet.

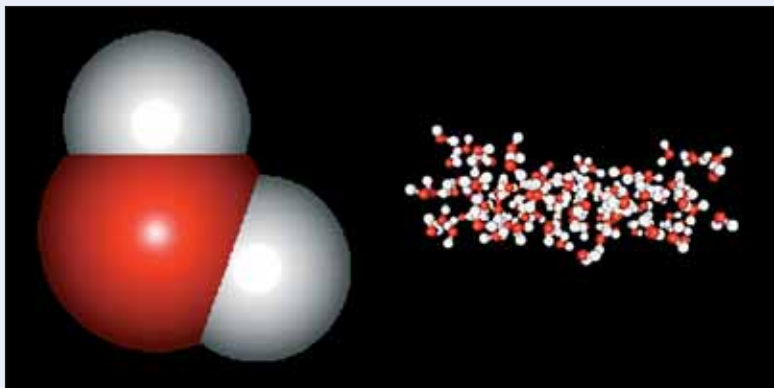
Daaruit blijkt dat het water op aarde slechts in beperkte mate van inslagen van kometen uit de verre diepten ons zonnestelsel afkomstig kan zijn. Waarschijnlijk is het overgrote deel afkomstig van vulkanische ontgassing van het gesteente van de jonge, afkoelende aarde zelf en van inslaande planetoiden of 'gordelkometen' (zie *Zenit* 33, september 2006, blz. 422).

### Waar wordt water gevormd?

Zelfs na meerdere generaties sterren is er nog steeds veel meer H dan O in het heelal: in onze zonneomgeving zo'n tweeduizend keer meer. Moleculen zoals water ontstaan in de koude wolken van stof en gas tussen de sterren.

Een mooi voorbeeld van een dichte wolk is weergegeven in figuur 2. Deze 'Kolenzak' is zo donker, doordat hij behalve gas ook kleine stofdeeltjes bevat – zandkorreltjes ter grootte van een tienduizendste millimeter – die samen ongeveer één procent van de massa van de wolk vertegenwoordigen. Deze stofdeeltjes absorberen en verstrooien het licht van achterliggende sterren, net zoals de rook in een rokerig café het zicht bemoeilijkt.

In de koudste interstellaire wolken is de temperatuur maar net iets boven het absolute nulpunt, zo'n 260 gra-



1. (links) Watermolecuul: de witte bolletjes zijn H-atomen, het rode bolletje is een O-atoom. In de ruimte kunnen watermoleculen een amorfe waterijsstructuur vormen (rechts).

2. Opname van de donkere wolk NGC 281, gemaakt met de Hubble-ruimte-telescoop. De wolk is te zien als silhouet tegen een achtergrondnevel. (Foto: NASA, ESA en het Hubble Heritage team)



den onder nul op de Celsius-schaal. Ook de dichtheid is enorm laag vergeleken met de normale omstandigheden op aarde: slechts zo'n tienduizend deeltjes per kubieke centimeter. Toch weten de H- en O-atomen elkaar ook in de ruimte te vinden en vormen zij, onder de juiste omstandigheden, water.

### Watermasers en zwarte gaten

Interstellair water werd in 1969 ontdekt in de Orion-

nevel door de groep van Nobelprijswinnaar Charles Townes. Deze ontdekking was een beetje toevallig: water blijkt namelijk abnormaal sterke straling te kunnen uitzenden via zogeheten masers (*Microwave Amplification of Stimulated Emission Radiation*). Dit zichzelf versterkend proces geeft zeer heldere, scherpe emissielijnen die zelfs in de spectra van nabije sterrenstelsels goed waarneembaar zijn. Zo is het beste bewijs voor het bestaan van een superzwaar zwart gat in een extragalactisch stelsel geleverd door heel nauwkeurig de bewegingen van watermasers in de kern van het sterrenstelsel NGC 4258 te volgen.

Deze ongebruikelijke toepassing van water is enorm interessant, maar levert helaas geen informatie over de chemie en abundantie van water. Deze kan alleen worden achterhaald uit waarnemingen van de meer 'normale' spectraallijnen van water, maar het zicht daarop wordt ernstig gehinderd door het water in onze eigen aardatmosfeer. Dit geeft direct het belang van ruimtemissies aan: veel van onze huidige kennis over water in het Melkwegstelsel en elders is te danken aan het Infrared Space Observatory (ISO; 1995-1998).

### Welke vorm heeft water?

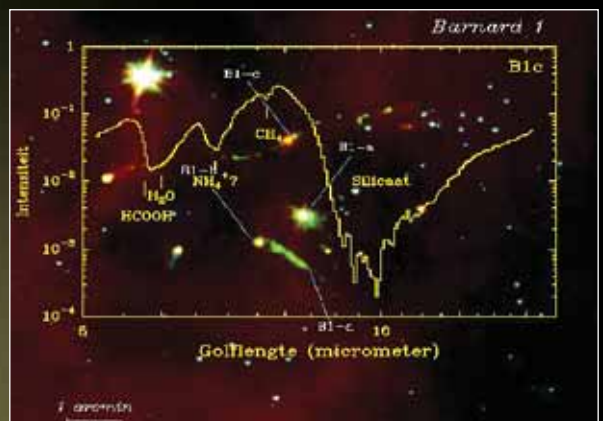
Op aarde heeft water drie verschijningsvormen: gas (waterdamp), vloeistof (water) en vaste stof (ijs). Water gedraagt zich echter heel anders dan andere stoffen: ijs drijft op vloeibaar water, en water kookt pas bij veel hogere temperaturen dan vergelijkbare verbindingen met hetzelfde moleculair gewicht. Beide merkwaardige eigenschappen zijn het gevolg van de waterstofbruggen die water kan vormen: het H-atoom kan zich niet alleen binden aan het meest nabije O-atoom, maar ook aan andere naburige O-atomen (zie fig. 1b). Hierdoor ontstaat een netwerk dat moeilijk kapot is te krijgen.

Vanwege de lage druk komt in de interstellaire ruimte geen vloeibaar water voor. De ontdekking van watergas is hierboven beschreven. In 1973 is voor het eerst waterijs gezien in de infrarode spectra van protosterren. Dit ijs ontstaat als de H- en O-atomen met de koude stofdeeltjes in de wolk botsen en vastvriezen. Het stof fungeert dan als 'katalysator' om waterijs te vormen. Dit blijkt een heel efficiënt proces te zijn: in koude wolken kan vrijwel alle beschikbare zuurstof worden omgezet in water.

Naast waterijs bevat de interstellaire ijscocktail ook methaan ( $\text{CH}_4$ ), koolmonoxide (CO), kooldioxide ( $\text{CO}_2$ )



3. Opname van de Orionnevel, gemaakt met de Hubble-ruimtetetelescoop en de infraroodsatelliet Spitzer. In 1969 is in de richting van deze nevel voor het eerst water in de ruimte ontdekt. (Zie <http://www.nature.com/physics/looking-back/cheung/index.html>)



4. Infraroodspectrum, vastgelegd met Spitzer, van de jonge protoster B1c in het sterrenbeeld Perseus. De verschillende ijsbanden zijn aangegeven. (Foto: Adwin Boogert, Jes Jorgensen en het Spitzer C2D Legacy Team)

en zelfs methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) (zie fig. 4). In het Raymond & Beverly Sackler-laboratorium in Leiden worden deze 'ruimteijzen' zo goed mogelijk nagebootst, niet alleen om ze te kunnen identificeren aan de hand van hun spectrum, maar ook om de chemie van deze ijzen te bestuderen.

### Water in de kraamkamers van sterren

Interstellaire wolken zoals die in figuur 2 kunnen op een tijdschaal van een paar miljoen jaar onder hun eigen gewicht inzakken. Er ontstaat dan een zogeheten protoster, zoals die voor het eerst ruim twintig jaar geleden in kaart is gebracht door de Amerikaans/Brits/Nederlandse infraroodsatelliet IRAS. Deze jonge sterren-inwording zitten nog lang verscholen in de dichte wolken waaruit ze gevormd zijn. Alleen de straling van het stof kan uit het omhulsel ontsnappen, waardoor we deze protosteren op infrarode en millimetergolflengten kunnen waarnemen.

De wolken waaruit sterren ontstaan draaien langzaam om hun as, en het materiaal dat naar binnen valt gaat steeds sneller roteren. Uiteindelijk vormt zich een roterende schijf rond de ster, van waaruit materiaal naar de ster kan stromen. Gas en stof uit het omhulsel regenen als het ware neer op de schijf, totdat al het omliggende materiaal is weggeblazen door de wind en 'jets' die de jonge ster ontwikkelt. Alle jonge sterren hebben zo'n uitstroom van materie die met hoge snelheid (tot 200 km/s) op het omliggende materiaal kan inrammen.

Door de geleidelijke opwarming door de protoster wordt het omliggende stof na zo'n tienduizend jaar zó warm, dat de ijslaagjes gaan verdampen. In de ijle ruimte ligt deze verdampingstemperatuur lager dan op aarde: rond  $-160\text{ }^\circ\text{C}$  in plaats van  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Denk maar aan het koken van water in de bergen vergeleken met zeeniveau: door de lagere druk ligt het kookpunt op de top van Mauna Kea bij  $85\text{ }^\circ\text{C}$ , en op de top van Mount Everest zelfs bij  $73\text{ }^\circ\text{C}$ . Met de ISO-satelliet hebben we deze overgang van waterijs naar watergas prachtig kunnen waarnemen in wolken waar zware sterren zoals de Trapeziumsterren in Orion worden gevormd (zie fig. 3). Eén zo'n protostellair omhulsel bevat evenveel watermoleculen als een miljoen oceanen!

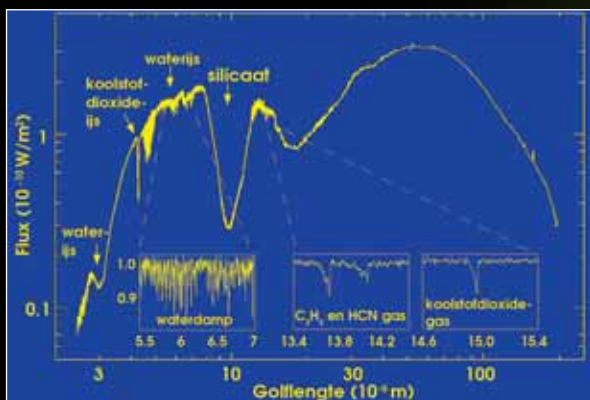
Water kan ook door chemische reacties in heet gas worden gevormd. In de schokken die door de snelle materiejets van jonge sterren worden veroorzaakt, kunnen de temperaturen oplopen tot ruim  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ , waardoor ineens allerlei reacties mogelijk worden. De reactieketen

$\text{O} + \text{H}_2 \Rightarrow \text{OH} + \text{H}$  gevolgd door  $\text{OH} + \text{H}_2 \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$  zet heel efficiënt vrijwel alle beschikbare zuurstof om in water. Deze hoge waterabondanties zijn waargenomen met de satellieten SWAS (Submillimeter Wave Astronomy Satellite) en ISO (fig. 5).

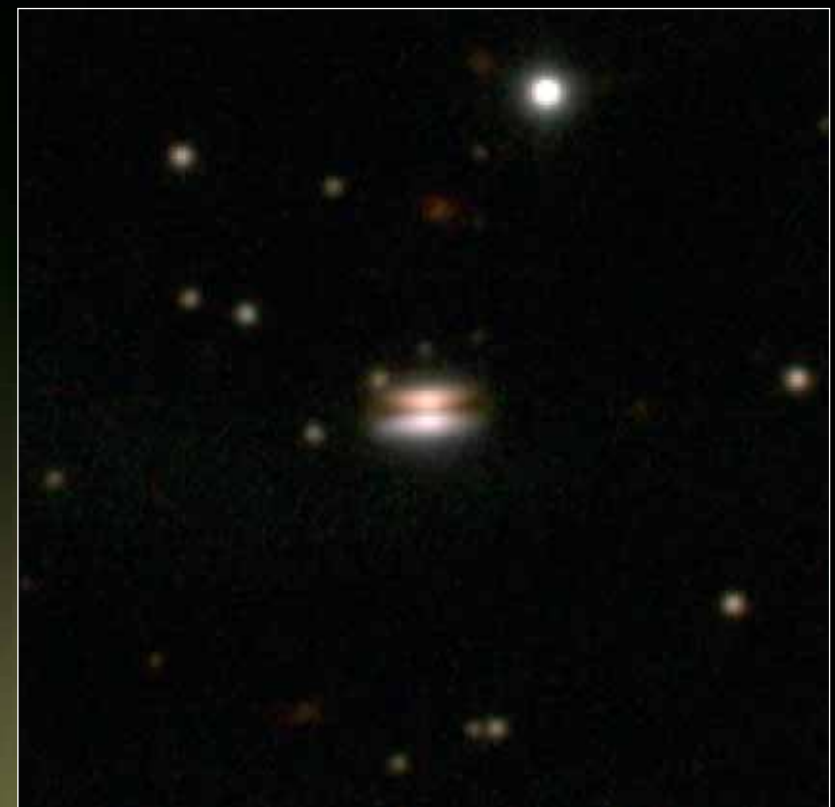
### De toekomst: Herschel

Interstellair watergas en -ijs zijn tot nu toe voornamelijk waargenomen met de infraroodsatellieten ISO en Spitzer en de submillimetersatellieten SWAS en Odin. Deze laatste twee hebben een spiegel van minder dan een meter, zodat het ruimtelijk scheidend vermogen erg slecht is: SWAS kan amper de Orionnevel als afzonderlijk object herkennen. Bovendien kunnen zowel SWAS als Odin alleen de minst energetische spectraallijn van water meten, terwijl in de warme stervormingsgebieden juist de hoge energietoestanden veel prominenter zijn. Bovendien is de technologie inmiddels veel verder ontwikkeld, zodat vergelijkbare ontvangers nu ruim tien keer zo gevoelig zijn. Al met al waren dit goede redenen voor ESA om, in samenwerking met NASA, de 3,6-m Herschel Space Telescope als 'cornerstone' in het programma op te nemen.

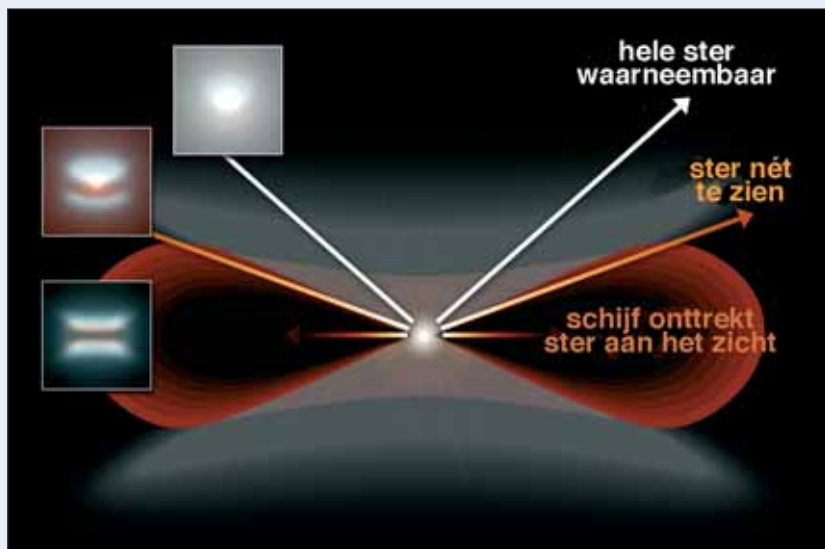
De Herschel-satelliet wordt rond eind 2008 gelanceerd en bevat drie instrumenten. Het HIFI-instrument (Heterodyne Instrument for the Far Infrared), gebouwd door een internationaal consortium onder leiding van prof. Thijs de Graauw (SRON-Groningen), maakt gebruik van de heterodyne technologie tussen 480 en 1910 GHz met heel hoge spectrale resolutie: de lijnprofielen zijn volledig opgelost, waardoor onderscheid gemaakt kan worden tussen geschokt en rustig water. Het PACS-instrument (Photodetector Array Camera and Spectrometer), gebouwd onder leiding van het Max Planck Institut



5. Het ISO-SWS- en LWS-spectrum van de zware protoster AFGL 2591 in het infrarode golflengtegebied van 2,4-200 micrometer. De absorptiebanden van water in de gasfase en in het ijs zijn aangegeven. (Illustratie: Gloude-mans & Van Dishoeck)



6. Deze protoplanetaire schijf in het Ophiuchus-stervormingsgebied wordt ook wel de 'Vliegende Schotel' genoemd. Deze schijf zien we vanaf aarde vrijwel precies van opzij. Hierdoor is de centrale jonge ster niet te zien, alleen het verstrooide infrarode licht onder en boven de schijf. Zie ook figuur 7. (Foto: N. Grosso, ESO)



7. Schets van een protoplanetaire schijf die onder verschillende hoeken wordt waargenomen. De meest gunstige oriëntatie voor het waarnemen van ijzen is rond 70 graden, waarbij de gezichtslijn door het warme boven-deel van de schijf gaat (Illustratie: Pontoppidan et al.)

für Extraterrestrische Physik (Garching, Duitsland), werkt bij hogere frequenties, waardoor het scheidend vermogen beter is. Het instrument omvat bovendien een array-camera waarmee meerdere spectra tegelijk in kaart kunnen worden gebracht. Ten slotte is er het SPIRE-instrument (Spectral and Photometric Imaging Receiver), een combinatie van een camera en een spectrometer, gebouwd door een Europees consortium onder Britse leiding.

Nederlandse astronomen zetten een groot deel van hun gegarandeerde waarneemtijd in op waarnemingen van water (Nederland, waterland!). Zelf leid ik het sleutelprogramma 'Water In Star-forming regions with Herschel' (WISH), een samenwerkingsverband van zo'n vijftig astronomen uit tien landen. Het doel van dit programma is om aan de hand van water de fysische omstandigheden in interstellair gaswolken te onderzoeken

## Mogelijk water ontdekt in atmosfeer exoplaneet

Het eerste voorzichtige succesje bij het opsporen van water in de atmosfeer van een planeet buiten ons zonnestelsel lijkt binnen te zijn. Travis Barman van de Lowell-sterrenwacht concludeert op basis van waarnemingen met de Hubble-ruimtetelescoop en theoretische modellen dat de atmosfeer van de exoplaneet HD209458b waterdamp bevat. Daarbij moet worden aangetekend dat de foutmarges in de metingen erg groot zijn.

HD209458b is een Jupiter-achtige planeet in een kleine omloopbaan rond een zonachtige ster op 150 lichtjaar afstand. Vanaf de aarde zien we deze baan precies van opzij, waardoor de planeet elke paar dagen vóór zijn moederster langs beweegt. Het licht van de ster schijnt dan door de planeetatmosfeer heen, waardoor het in principe mogelijk is de samenstelling ervan te bepalen.

De benodigde metingen liggen aan de grens van wat technisch haalbaar is, maar door bestaande Hubble-waarnemingen te vergelijken met theoretische voorspellingen, lijkt de aanwezigheid van waterdamp voor het eerst te zijn aangetoond. Het wachten is op waarnemingen met de infraroodsatelliet Spitzer die dit kunnen bevestigen. Op zich zou de ontdekking overigens geen verrassing zijn, want iedereen verwacht dat de dampkring van zo'n hete, gasvormige reuzenplaneet waterdamp bevat.

ken en de verschillende stadia van het stervormingsproces te volgen: van de koude wolken die nog via de protosterren moeten samentrekken tot de fase waarin het omhulsel is verdwenen en alleen nog de schijven rond de jonge sterren over zijn. Daarbij zal met name het HIFI-instrument worden gebruikt, aangevuld met PACS-spectra.

### Water in protoplanetaire schijven

Protoplanetaire schijven hebben afmetingen die vergelijkbaar zijn met die van ons eigen zonnestelsel (zo'n 100 astronomische eenheden; fig. 6). Op de afstand van de meest nabije stervormingsgebieden komt dit overeen met minder dan een boogseconde.

Deze schijven zijn zo interessant, omdat hierin door het geleidelijk aaneenklitten van stof- en ijsdeeltjes planeten kunnen ontstaan. Zodra de instroom van het omringende gas en stof stopt, komt de schijf tot rust en zijn de bewegingen veel minder turbulent. Onder deze omstandigheden kunnen de stofdeeltjes in vrij korte tijd verder samenklonteren tot deeltjes ter grootte van knikkers en bakstenen en uiteindelijk tot materiële klonters ter grootte van een paar kilometer. Deze zogeheten planetesimalen kunnen vervolgens door middel van de zwaartekracht aardse planeten of misschien zelfs Jupiter-achtige planeten vormen.

Kan het water uit de interstellair wolken via de schijven op de planeten komen, en daarmee een noodzakelijk ingrediënt leveren voor het ontstaan van leven? De huidige satellieten hebben niet de gevoeligheid om dit te kunnen meten. In het Herschel-HIFI-WISH-programma gaan we proberen om in protoplanetaire schijven voor het eerst water in de gasfase te detecteren. Met de Spitzer-satelliet en de Very Large Telescope hebben we in een schijf met een gunstige oriëntatie al wel waterijs gezien (fig. 7).

### Water en exoplaneten

Eén van de criteria voor de zoektochten naar bewoonbare exoplaneten is dat de planeet zich in de zogeheten 'leefbare zone' moet bevinden, waarin water in vloeibare vorm kan voorkomen. Dit betekent dat de planeet niet te dicht bij de ster mag staan (te heet, dus water verdampt) en niet te ver ervandaan (te koud, dus water bevroert).

In ons zonnestelsel ligt de aarde middenin de bewoonbare zone, Venus en Mars er net buiten. Uiteindelijk hoopt men water en andere karakteristieke banden die het gevolg zijn van leven (bijvoorbeeld ozon, als product van zuurstof) direct waar te kunnen nemen in de spectra van de atmosferen van exoplaneten – iets wat nu alleen onder uitzonderlijke omstandigheden lukt (zie kader 'Water ontdekt in atmosfeer exoplaneet').

De ruimtemissies die dit mogelijk moeten maken (zoals de Darwin-missie) liggen al wel op de tekentafel, maar het zal nog wel enkele tientallen jaren duren voordat ze gelanceerd worden. Voorlopig zullen de watergegevens die Herschel zal verzamelen dus van cruciaal belang zijn om meer inzicht te krijgen in de kringloop van water in het heelal.

### Literatuur

A. Gloude-mans-Boonman en E van Dishoeck, 'ISO helpt de evolutie van jonge zware sterren te ontrafelen', *Zenit* 31, januari 2004, blz. 10-14

E. van Dishoeck, 'Oorsprong van sterren, planeten en het leven', *Zenit* 29, juni 2002, blz. 262-267

WISH-website: <http://www.strw.leidenuniv.nl/WISH/>

## GANYMEDES OPTISCHE INSTRUMENTEN

### Nieuwe William Optics telescoop



#### Megrez 110 ED

- F = 655 mm (f/5.95)
- doublet airspaced ED optiek
- roteerbare, 2-speed focusseerinrichting
- inclusief aluminium koffer en beugels
- ideaal instrument voor de beginnende astrofotograaf, waarbij je visueel weinig tot niets inlevert
- prijs € 1.759,-

GANYMEDES OPTISCHE INSTRUMENTEN

Middeldorpstraat 1  
1182 HX Amstelveen  
Tel. 020-6412083 & 4536860  
ganymedes@xs4all.nl  
www.ganymedes.nl

## ROBTICS

Astronomical Instruments for the amateur

Perfekte vakantiecombinatie: licht in gewicht en hoog in prestaties.  
**ED apochromaat 66 mm F/400 mm**, leverbaar in 6 kleuren, met fraaie koffer. Prijs € 459,-.  
Met dual speed focuser en nonius aflezing. Uitschuifbare dauwkap, 360° roteerbare focusseerinrichting met SCT- draadaansluiting en 1.25 inch (standaardmaat) insteek. Afwerking Überklasse!  
Perfect voor astrofotografie, als telelens en als wide field telescoop. Oculairen en zenitspiegel optioneel.  
Voor 'ongelooflijke' foto's kijk eens op: [www.inhetdonker.nl](http://www.inhetdonker.nl)



- \* Beugels voor directe montage op Meade en Celestron SCT € 99,-.
- \* Tevens leverbaar een licht en supertransportabel **statief** met azimuthale kop. Deze kop kan 360° draaien en 90° omhoog inclusief fijnregelingen. Een kleine zwaluwstaart en draagtas wordt meegeleverd, prijs € 119,50. Kijkers met zwaluwstaart (maat Vixen) passen eveneens, b.v. Astro-Tec of W-O.

**Robtics de grootste keuze van Nederland in apochromaten.**  
TEC, Astro-Tec, W-O, Stellarvue, Astro-engineering, Sky-watcher, Meade  
\* Astrotec 111 mm EDT triplet F/7, super afwerking, prijs € 1875,-.  
\* Astrotec topklasse zenitspiegels, kwarts, 1/17 golfengte of beter, 99%, prijs € 289,-.

**Meade kerndealer**, kijk naar onze lage prijzen.

**Robtics**, Nieuwlandsedijk 53, 2691 KV 's-Gravenzande  
Woensdagavond 19-21 uur en Zaterdag 10-16 uur open  
tel. 0174-415932 (na kantooruren)  
[www.robtics.nl](http://www.robtics.nl) – [robtics@gmail.com](mailto:robtics@gmail.com)

Starlight Xpress

CCD-camera

**SXV-M8C**

Sony SuperHAD

2312 x 1720:

4 miljoen pixels

inclusief  
Claire de Lune aanbieding  
aluminium koffer

€ 1.780,-



Claire de Lune • Amsterdam

tel.: 020 4112937 • 06 51999671 • fax: 020 6673220

[www.clairedelune.nl](http://www.clairedelune.nl)

Aquarius  
OPTICS

you can  
Canon



Zonder Image Stabilizer



Met Image Stabilizer

Canon verrekijkers bieden een ongekende beeldkwaliteit en een perfecte afwerking.

Kom ze testen in onze winkel.

U heeft al een verrekijker met Image Stabilizer vanaf € 332,00.



Tel: 0487 570341

Vluchtheuvelstraat 10 6621 BK Dreumel  
Winkel open zaterdag van 10 tot 17 uur.

[www.telescoop.nl](http://www.telescoop.nl)