

'Water is mijn favoriete molecuul'

Tijdens haar speurtocht naar bouwstenen voor leven in de ruimte heeft **Ewine van Dishoeck** al vele ontdekkingen gedaan. Toch kan ze zich nog altijd verwonderen wanneer ze nieuwe gegevens van telescopen binnenkrijgt. 'Het voelt nog steeds alsof je een cadeautje uitpakt.'



Tekst: Marleen Hoebe en Jim Jansen
Fotografie: Bob Bronshoff

Zestig jaar geleden was het nog een van de grootste taboes in de sterrenkunde: de zoektocht naar buitenaards leven. Leuk voor kinderen en sciencefictionliefhebbers, maar wetenschappers hadden wel serieuze zaken aan hun hoofd. Voor zover ze wisten, bestonden aliens niet. En als ze ergens ver weg in het heelal toch zouden bestaan, dan zouden we ze nooit vinden.

Die houding veranderde in 1961, toen radioastronoom Frank Drake een formule opstelde om het aantal intelligente beschavingen in het heelal te kunnen voorspellen. Daaruit bleek dat de kans dat we elders sporen van leven zouden vinden, veel groter was dan gedacht.

Vervolgens raakte de zoektocht naar leven in de ruimte in een stroomversnelling. Tegenwoordig houdt de sterrenkunde zich niet alleen bezig met de ontdekking van nieuwe planeten, maar ook met de vraag of er op een andere planeet leven kan ontstaan. Om die vraag te beantwoorden, zoeken astronomen in de ruimte naar de bouwstenen van het leven.

Een van die astronomen is de Leidse hoogleraar moleculaire astrofysica Ewine van Dishoeck. Ze onderzoekt gaswolken die tussen de sterren zweven. Van Dishoeck probeert vast te stellen welke moleculen in die wolken rondzweven. Aangezien sterren en planeten uit gaswolken ontstaan, moeten de wolken moleculen bevatten die de bouwstenen voor het leven vormen. Door die bouwstenen in kaart te brengen, hoopt Van Dishoeck uiteindelijk erachter te komen hoe

het leven op aarde is ontstaan en hoe groot de kans is dat dit proces ook elders in het heelal plaatsvindt.

De Leidse hoogleraar observeert dit allemaal met de nieuwste telescopen in Chili. Momenteel werkt ze veel met de Atacama Large Millimeter Array-(ALMA-)telescoop. Die staat in de kurkdroge Atacama-woestijn in het noorden van Chili, op een plateau dat meer dan 5000 meter boven zeeniveau ligt.

Tijdens haar speurtocht naar bouwstenen voor leven heeft Van Dishoeck al een flink aantal ontdekkingen gedaan, waaronder moleculen die niet eens op aarde voorkomen. Toch blijft het simpele water haar favoriete molecuul. Ze heeft zich veel beziggehouden met de zoektocht naar water in de ruimte. Met behulp van ruimtetelescoop Herschel kon ze uiteindelijk vaststellen dat vrijwel alle jonge sterren omgeven zijn door voldoende water om planeten met oceanen te vormen.

Van Dishoeck kan zich nog altijd verwonderen wanneer ze nieuwe gegevens van telescopen binnenkrijgt. 'Het voelt nog steeds

'We zoeken in een tuin met een hoop mooie bloemen, maar helaas ook veel onkruid'

alsof je een kerstcadeautje uitpakt zodra we nieuwe data gaan bestuderen.'

Om de bouwstenen voor leven te vinden, moet je als onderzoeker ergens beginnen met zoeken. Waar begint u met deze zoektocht?

'Mijn zoektocht begint in de ruimte tussen de sterren. De temperaturen hier liggen net iets boven het absolute nulpunt. Dat is -273,15 graden Celsius. In de ruimte zweven een soort gaswolken die interstellair worden genoemd. Die kun je vergelijken met onze eigen wolken hier in de atmosfeer. Ze zijn alleen een stuk ijler, want ze bevatten

veel minder deeltjes. Een goed vacuüm in het lab lijkt al ijl. Daar kun je per kubieke centimeter echter nog altijd honderd miljoen deeltjes vinden. In de gaswolken kun je niet meer dan honderdduizend deeltjes per kubieke centimeter vinden.

'De chemische samenstelling van interstellair wolken is onverwacht. Ze bevatten namelijk meer verschillende soorten moleculen dan je zou denken. Ondanks de ijlheid en de kou in de wolken, kun je wel bijna tweehonderd verschillende typen moleculen vinden.'

Welke bouwstenen van leven vindt u in deze ijskoude wolken?

'Een atoom dat het meest in die wolken in de ruimte voorkomt, is waterstof. Verder kun je hier koolstof, stikstof en zuurstof vinden. Deze atomen heb je nodig om interessante moleculen te maken, maar die zijn maar in een fractie van een promille in de wolken aanwezig. Chemici dachten dat die atomen elkaar nooit zouden vinden om moleculen te vormen, omdat ze maar in zulke

kleine aantallen beschikbaar zijn. Volgens de chemici zouden ze maar eens in de tienduizend jaar botsen.

'Gelukkig hebben de astronomen niet naar hen geluisterd en zijn ze verder gaan zoeken. En wat bleek: de chemici hadden het fout, want in 1968 werd ammonia gevonden, een molecuul met meerdere atomen. Eerder werd gedacht dat dit niet kon bestaan, omdat de ultraviolette straling in de ruimte het zou vernietigen. Toen vond Charles Townes, Nobelprijswinnaar voor Natuurkunde, dat het ammonia werd beschermd door de wolk waarin het zat.



Ewine Fleur van Dishoeck

Geboren 13 juni 1955 te Leiden

- **1980** master scheikunde, Universiteit Leiden
- **1984** promotie in de sterrenkunde, Universiteit Leiden
- **1984 - 1987** postdoc Harvard-universiteit
- **1987 - 1988** gasthoogleraar Princeton-universiteit
- **1988 - 1990** assistent-hoogleraar astrochemie, California Institute of Technology
- **1990 - heden** hoofddocent astronomie, moleculaire astrofysica, Universiteit Leiden
- **1995 - heden** hoogleraar astronomie, moleculaire astrofysica, Universiteit Leiden
- **2000** Spinozapremie
- **2007 - heden** wetenschappelijk directeur Nederlandse Onderzoeksschool voor Astronomie
- **2015** verkozen tot president Internationale Astronomische Unie 2018 - 2021

'De chemici waren iets te pessimistisch toentertijd. Eigenlijk hadden ze niet goed nagedacht over reacties tussen atomen op stofdeeltjes, terwijl de beroemde Nederlandse astronoom Hendrik van de Hulst al rond 1945 had voorspeld dat ammonia op stofdeeltjes wordt gevormd. Verder hadden ze niet goed door dat ionen bij het absolute nulpunt even snel reageren als bij kamertemperatuur. Dat is voor de meeste reacties in gasfase niet het geval, maar een ion heeft een langeafstand aantrekking. Als je al deze punten wel meeneemt, kun je de samenstelling van de wolken heel goed verklaren. Vanaf 1970 is er dan ook een stortvloed aan moleculen gevonden.'

Welke technologieën gebruikt u om deze moleculen te vinden?

'We verkrijgen onze gegevens met behulp van nieuwe krachtige telescopen, bijvoorbeeld de ALMA-telescoop in Chili. Deze bestaat uit vijftig antennes met een diameter van twaalf meter, die verspreid staan over een paar kilometer. De informatie van de antennes wordt gebundeld om een telescoop met een diameter van een paar kilometer na te bootsen. Hoe groter de diameter, hoe scherper het beeld, en daarom kunnen we nu nauwkeurigere informatie verkrijgen en verder inzoomen op kleine schaal. Zo kunnen we moleculen bestuderen op de

schaal van ons eigen zonnestelsel. De individuele telescopen pikken lichtfrequenties tussen de 0,3 tot 9,6 millimeter op.

'Met de telescopen ontdekken astrochemici gemiddeld drie nieuwe moleculen per jaar in de ruimte. Soms zijn het huis-tuinen-keukenmoleculen die we al kennen, maar er worden ook moleculen ontdekt die nog nooit op de aarde zijn gevonden. Een bekend voorbeeld hiervan is geïoniseerd koolstofmonoxide (HCO^+), dat rond 1970 werd ontdekt. Niemand herkende dit ion. De moleculaire fysici moesten dit ion toen nabootsen in het lab.

'Dankzij de ALMA-telescoop vonden we in 2012 ook het simpelste suikermolecuul: glycoaldehyde. Dit is een zeer belangrijke bouwsteen voor het ontstaan van leven. Suikers zoals glycoaldehyde komen voor in de nucleotiden waaruit RNA is opgebouwd: een molecuul dat betrokken is bij het kopiëren van DNA. Onderzoekers denken dat het leven lang geleden is ontstaan met een RNA-fase. Zodra RNA ergens voldoende aanwezig is, heb je dus een basis om leven mee te vormen. Het vinden van glycoaldehyde was een grote ontdekking en wordt ook wel de 'sweet result' van ALMA genoemd.'

Vanwaar deze zoektocht naar bouwstenen voor leven in de ruimte?

'Ik had een heel goede leraar scheikunde op de middelbare school. Door hem ontstond mijn voorliefde voor scheikunde en ben ik dat gaan studeren. Mijn studie bevatte tevens een aantal natuurkundecolleges. Toen ik daar mijn eerste college van had, leek natuurkunde toch ook wel een erg interessant vak. Ik ging uiteindelijk vooral de natuurkundekant van scheikunde op, richting de quantumchemie. Helaas kon ik in Leiden niet op dit onderwerp promoveren, omdat de hoogleraar kort daarvoor was overleden. Mijn toenmalige vriend Tim de Zeeuw, nu mijn echtgenoot, kwam toen met een ander onderwerp, namelijk gaswolken in de ruimte. Hij dacht dat ik dit wel interessant zou vinden en daar had hij gelijk in. Ik stapte in 1980 over naar sterrenkunde. Dat was een goede zet. In die tijd werd namelijk een groot deel van het raamwerk van de

huidige sterrenkunde neergezet. Toen zijn echt de zaadjes voor de moderne sterrenkunde geplant.’

Wat doet u nu binnen het sterrenkundig onderzoek?

‘Ik ben vooral druk met het schrijven van onderzoeksvoorstellen om met nieuwe studies te kunnen beginnen. Als de gegevens van onderzoeken binnenkomen, ben ik zelf niet meer degene die achter de knoppen zit om die te bestuderen. Dit is specialistisch werk en daar moet je wel de tijd voor kunnen nemen. Ik heb helaas niet de tijd om dit rustig te kunnen doen.

‘Wel bekijk ik samen met anderen van mijn onderzoeksgroep welke moleculen aanwezig waren bij een jongere versie van de zon. Hiervoor gebruiken we de ‘vingerafdrukken’ van moleculen. Die afdrukken vinden we in de radiostraling die een gaswolk uitzendt. Die straling ontstaat doordat moleculen allemaal op verschillende manieren ten opzichte van elkaar trillen of draaien.

De verschillende golflengten van de radiostraling kun je weergeven als een lijntjespatroon. Je kunt het vergelijken met de streepjescodes in de supermarkt. Die codes zijn allemaal gelinkt aan verschillende producten. Net zo heeft elk molecuul een eigen lijntjespatroon, zijn vingerafdruk.

‘De gegevens die we via de ALMA-telescoop binnenkrijgen, vergelijken we met bestaande vingerafdrukken van moleculen die eerder in het lab zijn gemeten. Zo kunnen we bepalen welke moleculen bij de data van ALMA horen.’

Dit klinkt als een precies werkje. Hoe lang denkt u bezig te zijn om al die vingerafdrukken te identificeren?

‘Vanaf 2015 zijn we al bezig met het identificeren van die vingerafdrukken. We hebben nu tienduizend lijnen van moleculen die horen bij een zonnestelsel toen het nog maar honderdduizend jaar oud was. Maar we hebben nog lang niet alle tienduizend vingerafdrukken kunnen benoemen.

‘Het gaat vaak om moleculen die astronomen al eerder in de ruimte hebben gevonden. Bijvoorbeeld in de Orionwolk, de

grootste chemische fabriek in de ruimte. Deze moleculaire wolk is een van de meest actieve sterfabrieken die we vanuit onze achtertuin kunnen waarnemen, maar hij is niet representatief voor ons eigen jonge zonnestelsel.’

Als u zo terugkijkt naar uw carrière, kunt u dan de mooiste ontdekking aanwijzen?

‘Dat is lastig, ik heb een heleboel hoogtepunten gehad. Telkens als we nieuwe gegevens binnenkrijgen, is het weer een

‘In 2011 hadden we ook een echt hoogtepunt. Toen vonden we een schijf van gas en stof met voldoende water voor zo’n zesduizend oceanen. Dit betekent dat als uit die schijf een nieuwe planeet vormt, daar in ieder geval genoeg water aanwezig is.’

Zou dit water dan ook voor leven in de ruimte kunnen zorgen?

‘Ja, dit zou kunnen, alleen moet het water hiervoor wel vloeibaar worden. De temperatuur en druk in de ruimte moeten dan

‘Ik hou niet van de scheiding tussen toegepast en fundamenteel onderzoek’ ↗

verrassing. Het is nog steeds alsof je een kerstcadeautje uitpakt.

‘In 1996 was er bijvoorbeeld een hoogtepunt. De Infrared Space Observatory (ISO-satelliet) was toen gelanceerd en we moesten wachten op de eerste gegevens die via de fax werden gestuurd. Toen we die binnen hadden, leek het eerst alsof we heel veel ruis hadden gekregen. Het instrument leek helemaal mis. Nadat we beter hadden gekeken, bleek dit de vingerafdruk van water te zijn. Toen hebben we een mooi artikel geschreven en veel aandacht gekregen. Dat was echt een aha-moment.’

Hoe hebt u uw favoriete molecuul kunnen bestuderen?

‘Water in de ruimte kunnen we niet hier vanaf de aarde bestuderen. Dat moeten we echt boven de atmosfeer observeren. Hiervoor hebben we vijf jaar lang gebruik kunnen maken van Herschel, de grootste werkende satelliet. Zo konden we een van de belangrijkste bouwstenen van leven observeren: water. Met Herschel hebben we de verschillende stadia die horen bij de vorming van water in de ruimte kunnen observeren.

omhoog. Dat zou bijvoorbeeld op een jonge planeet kunnen gebeuren.

‘Het merendeel van ons water op aarde is ook al heel vroeg in de ruimte gevormd. Nog voordat de zon ontstond, voor de volledige ineenstorting van de oernevel waaruit het zonnestelsel is ontstaan, was het water er al.’

Hoe kan water ontstaan bij een ineenstorting van een gaswolk, zoals onze oernevel?

‘Eerst zal een interstellair wolk instorten onder invloed van zijn eigen zwaartekracht. Die wolk stort in tot een protoster en vormt uiteindelijk een ster. In de wolk zit altijd al een draaiing en doordat de wolk instort, gaat die nog sneller roteren. Dit is te vergelijken met een kunstschaatser die tijdens het rondjes draaien zijn armen intrekt. Hierdoor gaat de schaatser sneller roteren.

‘Tegelijkertijd ontwikkelt de jonge ster een straalstroom, een soort wind. Daarmee probeert die ster uit zijn geboortewolk te komen. De ster probeert die als het ware weg te blazen. Een jonge ster wordt geboren met een schijf van gas en stof. Uit die schijf ontstaat dan uiteindelijk een planetenstelsel.



‘Voordat de wolk ineenstort, kan er water vormen. Voor watervorming moeten twee waterstofatomen en een zuurstofatoom wel eerst binden. Dit gaat alleen niet zo gemakkelijk. Hiervoor moeten ze bijvoorbeeld op een stofdeeltje vallen. Wanneer een waterstofatoom en een zuurstofatoom op een stofdeeltje vallen, verplaatsen ze zich een beetje daarop. Dan botsen ze ineens tegen elkaar aan en maken ze een binding. Daarna komt er een tweede waterstofatoom bij. Dit vormt dan samen met de andere twee atomen het molecuul water.’

Wat is de volgende stap in uw onderzoek?

‘De volgende stap is om de link te maken tussen ons eigen zonnestelsel en exoplaneten: planeten rond andere sterren. In het begin deden we onderzoek op heel grote schaal, zoals de hele Orionwolk, maar we kijken nu op steeds kleinere schaal: ter grootte van het zonnestelsel. Zo willen we de link leggen tussen de chemische samenstelling van een planeet en de positie in de schijf waaruit die zich vormt. Planeten kunnen

namelijk aan de binnenkant en aan de buitenkant van de schijf worden gevormd. We willen bekijken wat voor effect die positie heeft op de samenstelling van de atmosfeer van een planeet.

‘Een andere link die we willen maken, is tussen de chemische samenstelling van de schijven en dat wat het ruimtevaartuig Rosetta vindt bij de komeet 67P. Met het Rosina-instrument van Rosetta heeft het team al veel moleculen kunnen vinden. Dit is een instrument waarmee we moleculen kunnen identificeren in de coma van de komeet: de nevelige gaswolk om de kern. Onder andere het molecuul glycine, het simpelste aminozuur, is met Rosina gevonden. Maar tot nu toe hebben wij dat aminozuur nog niet in jonge schijven gevonden.

‘De James Webb Space Telescope van ruimtevaartorganisatie NASA is in aantocht. Dit zal met een diameter van rond de zes meter de grootste telescoop zijn. Het is de opvolger van de Hubble-telescoop, die een diameter had van iets meer dan twee meter. De James Webb Space Telescope is een

infraroodtelescoop. Hiermee kunnen we moleculen zien die we niet met de ALMA-telescoop kunnen observeren, zoals kool-dioxide en methaan. We weten alleen nog niet precies wat we gaan zien. De telescoop wordt eind 2018 gelanceerd en dan krijgen we begin 2019 de eerste gegevens binnen.

‘We hebben zelf een instrument geleverd voor de James Webb Space Telescope: het Mid-Infrared Instrument (MIRI). Ik heb het vorig jaar nog even bij de telescoop in aanbouw kunnen zien. Dat was toch wel een bijzonder moment, je eigen apparaatje zo zien. Het is de toekomst van ons onderzoek.’

Kunnen we met de moderne technologie van nu nog beter en sneller ontdekkingen doen dan voorheen?

‘Ja en nee, denk ik. We vergelijken het een beetje met een tuin waar een hoop mooie bloemen zijn, maar helaas ook veel onkruid. Eerst moeten we door veel onkruid heen. Met dat onkruid bedoel ik de moleculen die we al kennen. Om nieuwe moleculen te vinden, moeten we daar doorheen voordat



'Of het gaat om wifi of je smartphone, uiteindelijk komt alle technologie voort uit fundamenteel onderzoek' ↗

we bij de mooie bloemen terecht komen. De zoektocht gaat dus nog niet veel sneller.'

Kan dit komen doordat er in Nederland te weinig aandacht aan fundamenteel onderzoek wordt besteed?

'Het is jammer dat al het onderzoeksgeld van tevoren is onderverdeeld. Hierbij wordt er een scheiding gemaakt tussen toegepast en fundamenteel onderzoek. Ik hou niet van deze scheiding. Toegepast onderzoek is volgens mij onderzoek voor kortetermijntoepassingen en fundamenteel onderzoek voor langetermijntoepassingen. Het is een grote fout dat mensen denken dat de opbrengst van fundamenteel onderzoek nul is. Je kunt

niet meten hoeveel het onderzoek gaat opleveren. Het is niet duidelijk wat er over twintig jaar gaat gebeuren. Wij drijven onze ingenieurs tot het uiterste om de meest gevoelige instrumenten te verkrijgen. Door die stimulans komen ze uit op dingen die niemand eerder heeft ontdekt. Uiteindelijk komt alle technologie voort uit fundamenteel onderzoek, zoals wifi of je smartphone.'

U bent een van de meest geciteerde onderzoekers in de sterrenkunde. Je zou toch denken dat er naar u geluisterd wordt. 'Dat is maar mondjesmaat. Het onderzoek resoneert niet zo bij politici zoals het zou moeten. Het is toch moeilijk om politici te

bereiken; ze hebben weinig of geen tijd om er aandacht aan te besteden.
'In Duitsland besteden ze wel meer aandacht aan onderzoek. Dat komt doordat Angela Merkel ook uit de wetenschap komt. Ze komt eigenlijk uit hetzelfde gebied van de quantumchemie als ik. Het zou kunnen dat we op dezelfde congressen waren. Mevrouw Merkel snapt hoe het onderzoek werkt.'

Hoe kunnen we de houding van politici tegenover wetenschap veranderen?

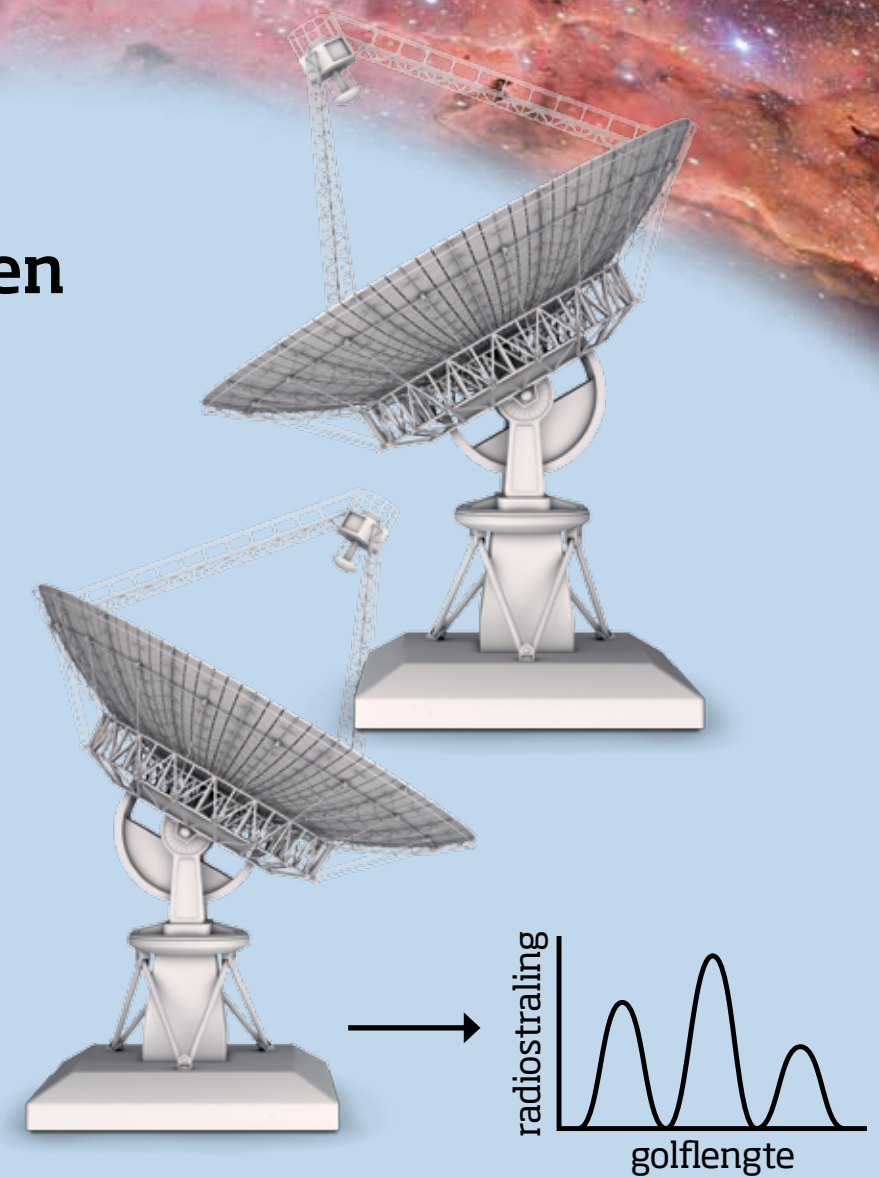
'We moeten hier in Nederland blijven volhouden met het stimuleren van politici. Binnenkort ga ik bijvoorbeeld naar Chili voor de nieuwe Extremely Large Telescope. Mijn echtgenoot zal hier de eerste steen leggen als directeur-generaal van het European Southern Observatory (ESO). Hij heeft echt de mooiste baan in de sterrenkunde wereldwijd.

'De president van Chili zal bij deze ceremonie aanwezig zijn. Ik denk dat het belangrijk is dat politici die over de financiën gaan veel meer met eigen ogen zien wat voor toptechnologie daar staat. Het is namelijk niet zo makkelijk om zelf het verhaal over te brengen.' ■

Zo spoor je in de ruimte de bouwstenen voor leven op

Een klein beetje van een gaswolk naar de aarde halen om te bestuderen in het lab, dat gaat niet. Om moleculen in die gaswolken te observeren, hebben we telescopen nodig die de straling van de moleculen kunnen opvangen.

Astronomen kunnen verschillende moleculen onderzoeken via de radiogolven die uitgezonden worden door de wolken waarin ze zitten. Die radiogolven ontstaan doordat moleculen verschillende interne bewegingen vertonen. Ze draaien en trillen, maar niet willekeurig. Je kunt dit zien als 'toestanden' waarin ze zich bevinden. Wanneer ze wisselen van toestand, wisselen ze ook van energieniveau. Bij een wisseling van toestand, bijvoorbeeld wanneer een molecuul naar een lager energieniveau gaat, zendt het een kenmerkend foton uit. Zodra het naar een hoger energieniveau gaat, neemt een molecuul juist een foton op. Hierbij ontstaan emissielijnen en absorptielijnen. Dit worden spectraallijnen genoemd. Ze geven aan bij welke golflengte een molecuul veel radiostraling uitzendt. Deze lijnen zijn heel kenmerkend voor een molecuul. Je kunt ze zien als een vingerafdruk.
De vingerafdruk uit de ruimte vergelijken astronomen dan weer met vingerafdrukken van moleculen die gemeten zijn in het lab. Door ze te vergelijken, krijgen astronomen een beeld van welk molecuul daar in de ruimte zou kunnen zitten.



Zo hoog mogelijk

Radiogolven kunnen een lange golflengte hebben: van millimeters tot meters. Die golflengten meten astronomen met radiotelescopen. Dit zijn telescopen met metalen spiegels, gaas en draden waarmee ze radiostraling kunnen onderscheppen en concentreren. Ze moeten een grote diameter hebben, want dan kun je veel scherpere beelden binnenkrijgen. Door de informatie van verschillende antennes van een telescoop te bundelen, creëer je een grote diameter.

Millimetergolflengten kunnen astronomen detecteren met de Atacama Large Millimeter Array (ALMA)-telescoop. De aardse atmosfeer laat echter bijna geen millimeterstraling door. De telescoop moet dan ook zo hoog mogelijk staan om die straling te meten. Daarom staat de ALMA-telescoop op een hoogte van 5000 meter in Chili. Verder is het belangrijk dat de atmosfeer daar helder en stabiel is. Bewegende lucht in de atmosfeer kan de observaties namelijk behoorlijk beïnvloeden.

Moleculen in de ruimte kun je nog beter bestuderen met een ruimtetelescoop. UV-straling, röntgenstraling, gammastraling en infraroodstraling worden dan namelijk niet geblokkeerd door de atmosfeer. Een voorbeeld van een ruimtetelescoop is Herschel. Deze was onder andere betrokken bij de ontdekking van water in de ruimte. Herschel draait nog altijd om de aarde, maar is niet meer bruikbaar voor de wetenschap, omdat hij geen koelvloeistof meer bevat.