

## Grote telescopen voor kleine golven

*Oratie uitgesproken door prof. dr. Floris van der Tak  
ter gelegenheid van zijn benoeming tot hoogleraar  
in de submillimeter-sterrenkunde  
aan de Rijksuniversiteit Groningen  
op dinsdag 11 februari 2014.*



## *Grote telescopen voor kleine golven*

Mijnheer de Rector Magnificus, waarde collega's, lieve familie en vrienden, zeer gewaardeerde toehoorders,

Ik heet u graag van harte welkom bij mijn oratie als hoogleraar in de submillimeter-sterrenkunde in Groningen. I would also like to welcome the English speaking guests to my inaugural lecture. Auch möchte ich die Gäste aus Deutschland herzlich begrüßen zu meiner Antrittsvorlesung. Het komende half uur wil ik u graag iets vertellen over mijn vakgebied, de submillimeter-sterrenkunde. Daarbij staan drie vragen centraal: waarom sterrenkunde, waarom submillimeter, en waarom Groningen?

Om te beginnen wil ik met u een blik werpen op het sterrenstelsel op de omslag, genaamd M33, want het is nummer 33 in de catalogus van nevels die Charles Messier uit Parijs in de 18<sup>e</sup> eeuw opstelde om niet in de war te raken bij het zoeken naar nieuwe kometen. Door een kleine telescoop ziet M33 er namelijk als een wazig vlekje uit, net als een komeet. Door een grote telescoop zoals hier blijkt M33 echter een grote verzameling sterren die in een spiraalachtige structuur verdeeld zijn. Ons eigen Melkwegstelsel zou er net zo uitzien, als we het van buitenaf zouden kunnen bekijken. Het mooie van deze foto is dat er ook kleuren op te zien zijn, waarvan wij een heleboel kunnen leren.

De gele kleur op de foto zijn oude sterren zoals de Zon. Dat is het meest gewone soort ster. Daar zijn er ook in onze Melkweg heel veel van, namelijk ongeveer honderd miljard. Het blauw zijn jonge sterren die tien tot honderd keer zo zwaar zijn als de Zon. Dit soort sterren is zeldzaam: slechts een op de honderd sterren is zo zwaar. Ze branden ook veel sneller op dan gewone sterren, maar door hun grote helderheid, sterke UV-straling, supernova-explosies en andere

*Prof. dr. Floris van der Tak*

effecten hebben ze wel een grote invloed op hun omgeving. Het rood is gas dat zich tussen de sterren bevindt, in dit geval waterstofgas dat door sterlicht wordt geïoniseerd – dat wil zeggen dat de waterstofatomen worden gesplitst in een proton en een elektron. Er is in onze Melkweg een heleboel van dit soort interstellair gas aanwezig: genoeg om ongeveer 5 miljard nieuwe sterren van te maken. Het zwart tenslotte is stof dat het licht van achterliggende sterren verduistert. Interstellaire wolken bestaan voor 99% uit gas en voor de rest uit stof, maar die ene procent stof speelt een grote rol in het gedrag van die wolken.

Hoe weten we dat nu allemaal? Om dat duidelijk te maken neem ik u 200 jaar mee terug in de tijd, naar het jaar 1814. De opticus Joseph von Fraunhofer uit München was een expert in het slijpen van glazen lenzen en prisma's, en in dat jaar maakte hij de eerste spectroscop. Licht bestaat uit golven van verschillende lengte: rood licht heeft langere golven dan blauw licht. Astronomen noemen de verdeling van lichtsignalen naar golflengte een spectrum. Met een spectroscop wordt zo'n spectrum heel precies bepaald. Fraunhofer probeerde diverse lichtbronnen: een kaarsvlam, een houtvuur, en tenslotte ook eens de Zon. Tot zijn verrassing bleek het spectrum van de Zon honderden donkere lijnen te vertonen. Fraunhofer noemde ze spectraallijnen, en tegenwoordig zijn er miljoenen van bekend. Het interessante was dat sommige van deze spectraallijnen op dezelfde golflengtes lagen als de heldere lijnen in de spectra van kaarslicht en houtvuur. In het voorbeeld in Figuur 1 zien we dat de D-lijn van natrium is, en de C- en F-lijnen van waterstof. Fraunhofers apparaat was zelfs goed genoeg om het licht van sterren te meten, en hij ontdekte dat het licht van de ster Sirius (de helderste ster aan het Noordelijk halfrond, vanavond aan de zuidelijke hemel te zien, links onder het sterrenbeeld Orion) andere lijnen vertoont dat dat van de Zon.

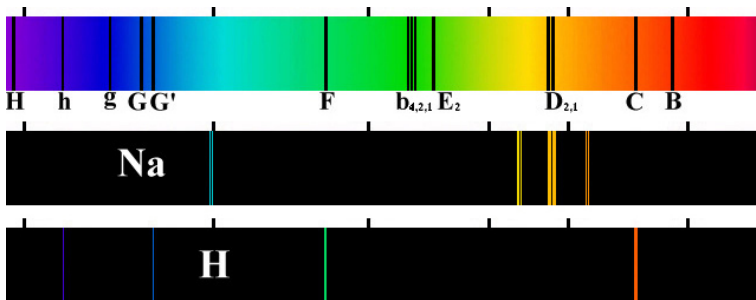
## *Grote telescopen voor kleine golven*

De verklaring voor Fraunhofers lijnen werd in 1859 in Heidelberg gevonden (Figuur 2). De chemicus Robert Bunsen, de uitvinder van de Bunsen-brander die u misschien nog kent van de scheikunde-les op school, had in zijn laboratorium de spectra van allerhande gassen opgemeten. De spectra lieten heldere lijnen zien, op golflengtes die voor ieder element op een karakteristieke plaats liggen, dezelfde plekken waar Fraunhofers lijnen zich bevinden. Samen met de fysicus Gustav Kirchhoff concludeerde Bunsen dat deze zelfde gassen ook in de Zon voorkwamen, en dat de lijnen donker zijn omdat de buitenkant van de Zon minder heet is dan de binnenkant.

Dit werk betekende een revolutie want het maakte duidelijk dat de Zon en de andere sterren uit hetzelfde materiaal bestaan als de Aarde. Dit in tegenstelling tot klassieke filosofie en natuurwetenschap naar Aristoteles, die ervan uitging dat materie op Aarde uit vier elementen bestond (water, vuur, lucht en aarde) en de hemellichamen uit een vijfde element, de zogenaamde quinta essentia. Veel ontdekkingen hebben het heelal groter gemaakt, maar deze bracht de sterren juist dichterbij. Hoewel ... Er waren ook een paar spectraallijnen in het spectrum van de Zon die Kirchhoff en Bunsen niet konden thuisbrengen, en zij veronderstelden dat deze afkomstig waren van een chemisch element dat niet op Aarde maar alleen op de Zon voorkwam. Zij noemden het Helium, naar het Griekse woord voor zon. Later is dit element ook op Aarde gevonden, waar het onder meer gebruikt wordt om ballonnen mee op te blazen.

De ontdekking van helium staat niet op zichzelf: het is in de geschiedenis vaak voorgekomen dat er onbekende lijnen in een nieuw spectrum opdoken, en de speurtocht naar de oorsprong van zo'n lijn heeft al veel nieuwe kennis opgeleverd. Zo had William Huggins uit Londen in de jaren 1860 spectra opgenomen van een aantal nevelvlekken aan de hemel, uit de catalogus van Messier, en vastgesteld dat er twee soorten nevels waren. Ten eerste waren er

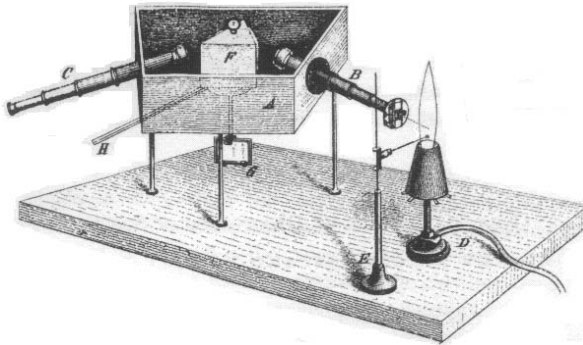
**Bild 1.** Licht besteht aus Wellen unterschiedlicher Länge: rotes Licht hat längere Wellen, blaues hat kürzere. Astronomen nennen die Verteilung von Lichtsignalen nach Wellenlänge ein Spektrum. Vor genau 200 Jahren entdeckte Fraunhofer, daß das Spektrum der Sonne außer der Farben des Regenbogens auch dunkle Linien enthält. Einige dieser Linien hatten die gleiche Wellenlänge als die hellen Linien im Spektrum einer Kerzenflamme. Fraunhofer folgerte daraus, daß die Sonne die gleichen Gase enthält als die Flamme einer Kerze.



**Figure 1.** Light consists of waves of different lengths: red light of longer waves than blue light. Astronomers call the distribution of light signals over wavelength a spectrum. Exactly 200 years ago, Fraunhofer discovered that the spectrum of the Sun contains dark lines. Some of these lines had the same wavelength as the bright lines in the spectra of a candle flame. Fraunhofer concluded that the Sun contains the same gases as a candle flame.

## Grote telescopen voor kleine golven

**Bild 2.** Welche Gase das sind wurde 1859 von Kirchhoff & Bunsen in Heidelberg entdeckt. Sie beobachteten das Licht einer Flamme mit heißem Gas und bestimmten, bei welcher Wellenlänge die Linien von verschiedenen Elementen (Eisen, Sauerstoff, usw.) liegen. Dabei entdeckten sie 2 neue Elemente: Cesium und Rubidium. Einige von Fraunhofers dunklen Linien konnten sie aber nicht zuordnen, und sie entschieden, daß es somit ein Element auf der Sonne geben muss, das es nicht auf Erden gibt. Sie nannten es Helium, nach dem griechischen Wort für Sonne. Später wurde es auch auf der Erde entdeckt, wo man es benutzt um z.B. Ballons aufzupusten.



**Figure 2.** Which gases those are was discovered by Kirchhoff & Bunsen in Heidelberg in 1859. They observed the light of a flame with hot gas and measured the wavelengths of the spectral lines of different elements. In the process, they discovered 2 new elements: cesium and rubidium, but there were a few of Fraunhofer's dark lines that they could not identify. They proposed that these are from an element that exists on the Sun but not on Earth, which they called Helium, after the Greek word for Sun. Later, helium was also found on Earth, where it is used for example to inflate balloons.

*Prof. dr. Floris van der Tak*

nevels met spectra die op spectra van sterren leken, met vooral donkere lijnen, en die dus uit een groot aantal sterren bestonden, zoals M33 aan het begin van mijn verhaal. Andere nevels echter hadden juist vooral heldere lijnen, zoals M42 in Orion, en die bestonden blijkbaar vooral uit heet gas. Maar die gasnevels bevatten ook lijnen die Huggins niet kon thuisbrengen, en hij veronderstelde dat zij afkomstig waren van een element dat alleen in nevels voorkwam, dat hij nebulium noemde. Pas in de jaren 1920 ontdekte Ira Bowen uit Los Angeles dat deze lijnen van geïoniseerd zuurstof waren. Dat had zo lang geduurd omdat deze lijnen onder Aardse omstandigheden bijzonder zwak zijn. Nevels in de ruimte hebben echter een zo lage dichtheid – lager dan het beste vacuüm op Aarde – dat deze lijnen daar juist heel sterk zijn.

Zoals deze voorbeelden laten zien zijn lijnspectra dus nuttig om de samenstelling van sterren en de dichtheid van gaswolken te bepalen, maar dat is niet het enige: ze stellen ons ook in staat om bewegingen te meten. De sirene van een ambulance klinkt hoger als hij naar u toe rijdt en lager als hij van u af rijdt, en uit het verschil in toonhoogte zou u zijn snelheid kunnen bepalen. Dit zogenaamde Doppler-effect treedt ook op bij licht, zodat objecten roder lijken als ze zich van ons vandaan bewegen en blauwer als ze op ons af komen. Studenten gebruiken dit voor grapjes in de trant van: als ruimtewezens niet op het rode stoplicht willen wachten, hoe hard moeten ze dan met hun raket vliegen zodat het stoplicht groen lijkt?

Astronomen gebruiken het Doppler-effect om de bewegingen van sterren en sterrenstelsels te meten, en sinds kort ook om planeten op te sporen die om hen heen draaien en door de zwaartekracht een periodieke schommeling veroorzaken. Het huidige precisie-record van 1 m/s staat op naam van de spectrograaf HARPS, op de Europese Zuidelijke Sterrewacht ESO in Chili – goed genoeg om planeten ter grootte van Neptunus rond andere sterren te zien. Over

## *Grote telescopen voor kleine golven*

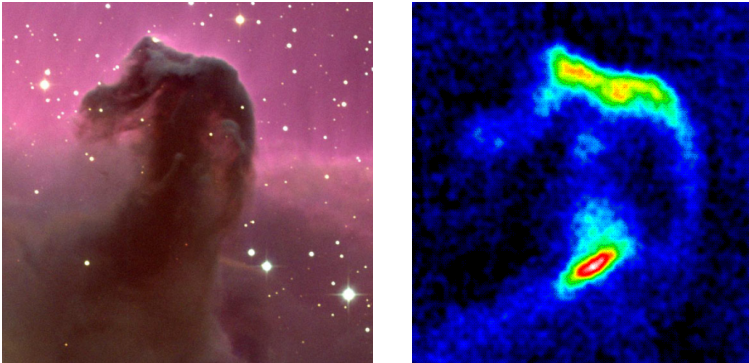
een paar jaar zal de opvolger van HARPS, genaamd ESPRESSO, nog 10 keer preciezer kunnen meten, goed genoeg om planeten zoals de Aarde te zien.

Nu hoor ik u denken: leuk en aardig allemaal, maar wanneer begint hij nu eindelijk over zijn eigen vakgebied, die submillimeter-sterrenkunde? Dat komt nu. Klassieke sterrenkunde gebruikt alleen zichtbaar licht, maar sinds een aantal decennia gebruiken sterrenkundigen ook straling op andere golflengten: radiostraling, infrarood, ultraviolet, Röntgen- en gammastraling. Submillimeterstraling zit tussen radio en infrarood in, met een golflengte van – u raadt het al – iets minder dan 1 mm. Het nuttige van submillimeterstraling is dat wij daarmee binnen in donkere wolken kunnen kijken – u herinnert zich, de zwarte en rode plekjes op de foto aan het begin. Op submillimeter-golflengten zijn die wolken niet donker, maar stralen ze juist helder, zoals op het beeld rechts in Figuur 3, genomen met de James Clerk Maxwell-telescoop op Hawaï. In de hals van het paard laat het submillimeter-beeld een stervormingsgebied zien dat in zichtbaar licht (links) geheel verborgen is.

De verdeling van het licht over submillimeter-golflengten is ook interessant, zoals op het beeld van de Rosette-nevel, genomen met de Herschel-satelliet (Figuur 4). Het stof dat zwart was in zichtbaar licht zien we hier als een regenboog oplichten, waarbij blauw warm stof is en rood koud. Bovendien zijn er in het submillimeter-gebied ook veel spectraallijnen, alleen niet van atomen zoals helium en ijzer, maar van moleculen zoals water, koolmonoxide, en ammonia. Zoals de kleur van de stofstraling ons vertelt over de temperatuur, zo vertellen deze spectraallijnen ons over de dichtheid van het gas, zijn chemische samenstelling, en dankzij het Doppler-effect ook over hoe het gas beweegt. Dat is nuttig omdat in dit soort gaswolken nieuwe sterren worden gevormd. Dat gebeurt nog steeds: in onze Melkweg gemiddeld 1 ster per jaar. Met behulp van submillimeterstraling



**Bild 3.** Submillimeter-Strahlung ist Licht mit einer Wellenlänge von etwa 1 mm, also 1000 Mal länger als sichtbares Licht. Ich benutze solches Licht um in dichten, dunklen Wolken zu beobachten, wie neue Sterne entstehen, z.B. im Pferdekopfnebel in Orion. Im Hals des Pferdes zeigt das Submillimeter-Bild (rechts) ein Gebiet, in dem Sterne entstehen. In sichtbarem Licht (links) ist dieses Gebiet völlig unsichtbar. Diese Technik hat eine Ähnlichkeit mit Ultraschall-Untersuchungen von Babys im Mutterleib.



**Figure 3.** Submillimeter radiation is light with a wavelength of about 1 mm, i.e., 1000 times longer than visible light. Such radiation is useful to study the formation of stars in dense, dark clouds, such as the Horsehead Nebula in Orion. The region of star formation seen near the horse's throat in the submillimeter image (right) is completely obscured in the optical image (left). This technique is somewhat similar to ultrasounds which nurses use to see if babies in their mothers' wombs are healthy.

## *Grote telescopen voor kleine golven*

**Bild 4.** Mit Submillimeter-Strahlung kann man auch die Temperaturen solcher Wolken bestimmen, wie in diesem Bild des Rosette-Nebels, 2010 beobachtet vom Weltraumteleskop Herschel. Die Farben im Bild zeigen die Temperatur: blau ist warm, rot ist kalt.



**Figure 4.** Submillimeter radiation is also useful to determine the temperatures of interstellar clouds, as in this image of the Rosette nebula taken with the Herschel Space Observatory. The color scale indicates temperature: blue is warm dust, and red is cold dust.

kunnen we die sterren zien ontstaan in die wolken – een beetje zoals verloskundigen met behulp van echo's baby's al kunnen zien terwijl ze nog in de buik van hun moeder zitten. Het doel is in dat geval om te kijken of de baby gezond is, maar bij sterren willen we graag weten waarom in sommige wolken veel meer sterren ontstaan dan in andere, waarom er meestal lichte maar soms ook zware sterren ontstaan, en hoe er rondom sterren ook planeten ontstaan. Voor dit doel bouwen we dus grote telescopen voor kleine golven, en Groningen speelt een grote rol hierbij.

Waarom is Groningen nu zo'n goede plek voor de submillimeter-sterrenkunde? Het antwoord daarop is kort gezegd dat het een plek is waar wetenschap en techniek samen komen. Groningen herbergt ten eerste het nationaal instituut voor ruimte-onderzoek SRON, waar sinds decennia instrumentatie voor ruimte-telescopen van wereldniveau wordt ontworpen en gebouwd. Vrijwel alle grote infrarode ruimtetelescopen hebben instrumenten uit Groningen aan boord gehad: de Nederlands-Brits-Amerikaanse satelliet IRAS in de jaren '80, de Europese missie ISO in de jaren '90, en de Europees-Amerikaanse satelliet Herschel in de afgelopen 5 jaar (Figuur 5 links). Ook op Aarde is steeds meer instrumentatie van SRON in gebruik, onder meer in de internationale submillimeter-interferometer ALMA in Chili.

Ten tweede huisvest Groningen een sterrenkundig instituut van wereldformaat: het Kapteyn-instituut dat deel is van deze universiteit. Met rond de 100 stafleden, studenten, promovendi en postdocs is het groot genoeg om een breed scala aan wetenschap te bedrijven, van kosmologie tot planeetvorming, maar toch klein genoeg dat men elkaar tenminste van gezicht kent en makkelijk een informeel gesprek begint. Wetenschap is tenslotte mensenwerk, gebaseerd op onderling vertrouwen. Financieel lijkt het soms aantrekkelijk om instellingen te laten fuseren, maar dat is een

## *Grote telescopen voor kleine golven*

eenzijdige benadering vanuit de kosten-kant. Als instellingen te groot worden verdwijnt het onderlinge vertrouwen, en moet de kwaliteit van het werk bewaakt worden met procedures en regels, hetgeen juist ten koste gaat van de productiviteit.

Een indicatie van de kwaliteit van de Groningse instituten is hun grote aantrekkingskracht op buitenlandse studenten. Bij SRON en Kapteyn samen lopen 15 verschillende nationaliteiten rond, en van de studenten, promovendi en postdocs uit mijn onderzoeksgroep komt er niet een uit Nederland, en komen er evenveel van binnen als van buiten Europa. Dit zou een inspirerend voorbeeld moeten zijn voor politici die bang zijn voor immigratie. Mensen zijn niet illegaal zolang zij zich aan de regels houden en voor zichzelf zorgen.

Ook de toekomst van Groningen als centrum van de submillimeter- en ver-infrarode sterrenkunde ziet er zonnig uit. Mijn technische collega's van SRON zijn al volop bezig aan de Japans-Europese ruimtetelescoop Spica, die over ongeveer 10 jaar supergevoelige metingen in het mid- en ver-infrarood gaat verrichten (Figuur 5 rechts). Deze telescoop is zo gevoelig omdat de spiegel wordt afgekoeld tot slechts 5 graden boven het absolute nulpunt, zodat er vrijwel geen achtergrondruis is. De bijdrage van SRON is de ver-infrarode spectrometer Safari, die gaat kijken naar het ontstaan van sterrenstelsels in het vroege heelal, het ontstaan van de sterren in die stelsels, en het ontstaan van planeten rondom die sterren. Voor mij maakt deze combinatie van wetenschap (Kapteyn-instituut) en techniek (SRON) Groningen tot de ideale plek om mijn soort wetenschap op grensverleggend niveau te bedrijven, en ik wil mijn hoogleraarschap graag gebruiken om de samenwerking tussen de twee Groningse instituten verder te versterken.

Ook in de submillimeter-sterrenkunde hebben we vaak te maken met nieuwe spectraallijnen die om identificatie vragen. Net als in de dagen van Kirchhoff en Bunsen vereist de identificatie van deze lijnen behalve een telescoop ook een laboratorium. Je vergelijkt het spectrum van de gaswolk met dat uit het lab, en als er lijnen op dezelfde golflengte zitten concludeer je dat dat gas ook in de wolk voorkomt. Hoe meer lijnen en hoe beter de overeenkomst, hoe betrouwbaarder de identificatie. Begin jaren 1970 lieten de submillimeter-spectra van veel wolken een lijn zien die bij geen enkel lab-spectrum paste, van een onbekend molecuul dat ze X-ogen noemden. Enkele jaren later stelde iemand een theorie op over de chemische samenstelling van die wolken, en voorspelde dat er  $\text{HCO}^+$  in te vinden zou zijn, dus koolmonoxide met een extra proton eraan. Dat gas komt niet van nature op Aarde voor, maar het kan wel in het lab worden gemaakt, en blijft dan een paar minuten bestaan, net lang genoeg om er een spectrum van te nemen. En dit spectrum liet keurig de lijn van  $\text{HCO}^+$  zien, dat sindsdien veel wordt gebruikt om de interactie van gaswolken met magnetische velden te bestuderen.

Ik ben zelf ook bij een aantal van deze zoektochten betrokken geweest. Zo las ik toen ik als postdoc werkzaam was in Bonn een artikel waarin werd voorspeld dat in bijzonder koude interstellaire gaswolken  $\text{ND}_3$  zou voorkomen, dat is ammonia met al zijn waterstof vervangen door deuterium. Ik dacht “Dat wil ik proberen te vinden”, en ik ging op zoek naar het spectrum van  $\text{ND}_3$ . Er bleken twee geschikte lijnen te zijn: een bij 18 cm, die met de radio-telescoop van Effelsberg kon worden gemeten, en een bij 1 mm, die geschikt was voor de submillimeter-telescoop van Caltech op Hawaii. We hebben heel wat wolken geprobeerd, en in een paar hebben we inderdaad  $\text{ND}_3$  gevonden, het eerste molecuul met drie deuterium-atomen in de ruimte, wat de nodige media-aandacht opleverde.

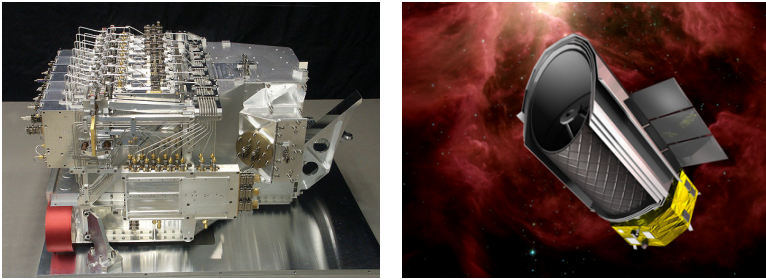
## *Grote telescopen voor kleine golven*

Aangemoedigd door dit succes ging ik toen proberen of er ook moleculen met 4 deuterium-atomen in de ruimte voorkomen, en de logische keus was methanol,  $\text{CD}_3\text{OD}$ . Hier bleek nog geen spectrum van te bestaan, behalve in het mid-infrarood waar geen geschikte telescoop voor is. Dus ik ging op bezoek in Keulen waar een lab is om submillimeter-spectra te meten, en tot mijn verbazing hadden ze daar in een kast een fles met  $\text{CD}_3\text{OD}$  staan! We begonnen meteen een opstelling te bouwen: lange glazen buis, vacuüm-pomp, gasfles, spectrometer aansluiten ... en nog die middag hadden we de eerste lijnen gemeten. Op basis van die gegevens heb ik toen nog een week op een telescoop in Spanje zitten waarnemen, maar zonder resultaat. Het feit dat  $\text{ND}_3$  wel maar  $\text{CD}_3\text{OD}$  niet te zien is betekent dat de allerkoudste gaswolken een temperatuur tussen de 5 en 10 graden boven het absolute nulpunt hebben.

De zoektocht naar dragers van nieuwe spectraallijnen gaat tot op de dag van vandaag door. Spectra van het HIFI-instrument op de Herschel-satelliet, genomen tussen 2009 en 2013, lieten vaak een signaal zien, bij een golflengte van ongeveer 0.5 mm, waar niemand van wist wat het was (Figuur 6). In die jaren ben ik naar verschillende conferenties geweest waar uitvoerig allerlei mogelijke verklaringen werden bediscussieerd, die allemaal werden verworpen. Totdat afgelopen oktober iemand op een conferentie in Noordwijk de oplossing presenteerde: het is een lijn van argonium, dus een argon-atoom met een extra proton eraan. Ik herinner me dat we in die zaal in Noordwijk van onze stoel vielen van verbazing, en de clou is dat argon in de ruimte op een andere manier wordt gemaakt dan op aarde, en dat interstellair argon dus iets lichter is dan argon op aarde, hetgeen de positie van de lijn iets verschuift. Het is een spectaculaire vondst want argon heet niet voor niets een edelgas: het gaat heel moeilijk verbindingen aan, en dit is voor het eerst dat er überhaupt ergens een molecuul met een edelgas erin is gevonden.

*Prof. dr. Floris van der Tak*

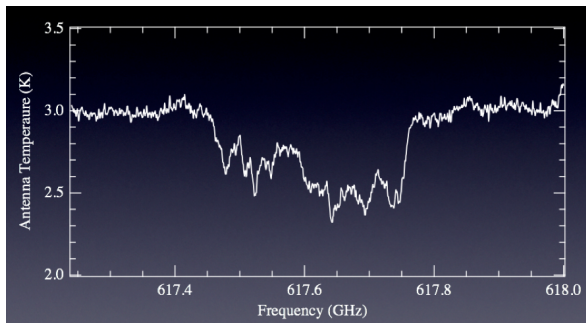
**Bild 5.** Auch im Submillimeter-Bereich gibt es Linien, allerdings nicht von Atomen wie Eisen und Helium, sondern von Molekülen wie Wasser und Kohlenmonoxid. Zur Beobachtung solcher Linien haben meine Kollegen von SRON Groningen das HIFI-Instrument (Bild links) entworfen und gebaut für das Weltraumteleskop Herschel. Das nächste Großprojekt für SRON ist ein Instrument fürs Japanisch-Europäische Weltraumteleskop Spica (Bild rechts), das in etwa 10 Jahren Beobachtungen in infrarotem Licht durchführen wird. Die Kombination von Wissenschaft (Kapteyn-Institut) und Technologie (SRON) macht Groningen zum idealen Standort für mein Gebiet.



**Figure 5.** The submillimeter range also has spectral lines, but not from atoms, but from molecules like water and carbon monoxide. To observe such lines, my colleagues at SRON have designed and built the HIFI instrument (left) for the Herschel Space Observatory. The next big project for SRON is an instrument for the Japanese-European space telescope Spica, which in ~10 years will perform sensitive measurements in the mid- and far-infrared. The co-existence of science (Kapteyn Institute) and technology (SRON) gives Groningen its world-leading position in this field.

## *Grote telescopen voor kleine golven*

**Bild 6.** Meine Forschungsgruppe benutzt Linien im Submillimeter-Bereich um die Dichte und die chemische Zusammensetzung von Gaswolken im Weltall zu bestimmen. Darüber hinaus bestimmen wir die Richtung und Geschwindigkeit von Gasströmungen innerhalb der Wolken, um zu verstehen, wie sich neue Sterne bilden. Solche Untersuchungen setzen aber ein Wissen voraus, von welchem Molekül eine Linie ist, und diese Identifizierung erfordert Zusammenarbeit mit Laboren wie z.B. in Köln. Viele Spektren von HIFI, aufgenommen zwischen 2009 und 2013, zeigten diese mysteriöse Spektrallinie bei 0.5 mm Wellenlänge. Erst Oktober 2013 wurde sie identifiziert als Argonium, welches das erste Molekül überhaupt ist, das ein Edelgas enthält.



**Figure 6.** My research group uses spectral lines in the submillimeter range to determine the density and chemical composition of interstellar gas clouds. Furthermore, we use the directions and velocities of motions inside those clouds to understand how new stars are formed. Doing so requires knowing which molecule produces which line, and for this identification we collaborate with laboratories and theoretical chemists. For example, many spectra from HIFI show this mysterious spectral feature near 0.5 mm wavelength. Only in October 2013, the feature was identified as  $\text{ArH}^+$ , which is the first interstellar molecule containing a noble gas.



Grotere telescopen leveren meer gegevens dan kleine, zodat de analyse ook door grotere teams moet worden gedaan, en voor de submillimeter-sterrenkunde was 2010 in dat opzicht een kantelpunt. Voor die tijd werd mijn soort onderzoek door groepjes van hooguit 5-6 wetenschappers gedaan. Met een nieuw idee vroeg je een paar nachten waarneemtijd op een telescoop aan, en als je die kreeg ging je zelf naar die telescoop toe, met ook een plan B voor als het weer die nacht zou tegenvallen. Op de telescoop besloot je dan ter plekke wat je die nacht ging doen, wat een grote mate van flexibiliteit en vrijheid gaf. Na terugkeer schreef je dan een artikel over de resultaten, en als alles goed ging leverde dit een paar artikelen per jaar op, elk met een paar co-auteurs. Tegenwoordig wordt submillimeter-sterrenkunde in teams van soms tientallen wetenschappers gedaan, die voor een project tientallen nachten waarneemtijd aanvragen, voor een telescoop die op afstand wordt bediend. De gegevens komen via elektronische post binnen, en het team schrijft er tientallen artikelen over, elk weer met tientallen co-auteurs. Van de artikelen in de speciale Herschel-uitgave van het vaktijdschrift *Astronomy & Astrophysics*, waarvan u in Figuur 7 (links) de omslag ziet, is de eerste bladzijde bijna geheel gevuld met de namen en adressen van de auteurs.

Deze ontwikkeling heeft goede en slechte kanten. De automatisering van telescopen vermindert de kans op vergissingen, tegen de prijs van een stukje flexibiliteit. Het bespaart ook reiskosten, hoewel ik zelf die reizen naar exotische oorden altijd heel inspirerend vond. De schaalvergroting van het onderzoeksproces heeft als grootste voordeel dat dezelfde soort gegevens wordt verkregen voor een groot aantal objecten, zodat die goed met elkaar kunnen worden vergeleken. Dat is zeker een verbetering ten opzichte van vroeger toen iedereen naar zijn favoriete ster op zijn favoriete manier keek, wat de vergelijking van de resultaten bemoeilijkte. Bovendien worden de gegevens van telescopen nu in een archief bewaard, zodat

## *Grote telescopen voor kleine golven*

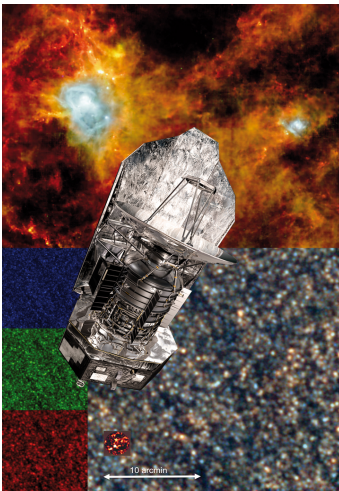
men later nog eens terug kan zoeken, niet alleen ter controle, maar ook om de gegevens op een andere manier te analyseren. Zeker bij grote faciliteiten zoals ALMA kunnen de gegevens vaak voor nog veel meer doeleinden worden gebruikt dan de oorspronkelijke indieners van het project voor ogen stonden.

Een keerzijde van het werken in grote consortia is dat het moeilijk is om te zien welke bijdrage iemand aan een resultaat heeft geleverd. Probeert u mij maar eens terug te vinden op de groepsfoto rechts in Figuur 7! Bij artikelen met enkele auteurs is duidelijk dat de eerste auteur het project heeft geleid en de anderen kleinere maar substantiële bijdragen hadden geleverd. Maar met consortia van tientallen wetenschappers is het verschil tussen plaats 4 en plaats 29 op de auteurslijst niet a priori duidelijk. Het probleem is nu dat bij sollicitaties op hoogleraars-posities het eerste filter vaak de publicaties zijn. Hoeveel artikelen heeft iemand geschreven, en hoeveel daarvan als eerste auteur? In principe zijn dit indicatoren voor of mensen ideeën ook in resultaten kunnen omzetten, en of zij leiding aan een groep kunnen geven, maar in het huidige consortium-tijdperk pleit ik ervoor om niet puur naar dit soort getalletjes te kijken. Het gaat immers om de kwaliteit, niet de kwantiteit.

Een tweede valkuil is het aantal citaties dat iemands artikelen hebben behaald. In principe is dit een indicator of iemands resultaten voor andere wetenschappers nuttig zijn. In economische termen: het aantal publicaties is de productie, en het aantal citaties de verkoopcijfers. Ook hier wordt bij sollicitaties veel naar gekeken, maar dit beeld kan sterk vertekend zijn als iemand bijvoorbeeld 29<sup>e</sup> auteur is op het overzichtsartikel van een groot project dat heel veel citaties krijgt. De H-index gaat dit effect tegen, maar het probleem blijft dat verschillende vakgebieden moeilijk met elkaar te vergelijken zijn. Hiervoor kan niet simpel gecorrigeerd worden omdat vakgebieden geen scherp afgebakende grenzen hebben – gelukkig maar!

*Prof. dr. Floris van der Tak*

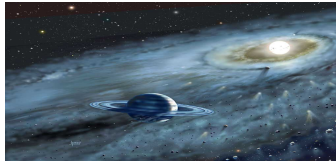
**Bild 7.** Das Jahr 2010 war ein Wendepunkt der Submillimeter-Astronomie, da das Fachgebiet seinen Arbeitsstil von kleinen Gruppen zu großen Konsortien änderte, wie in der Sonderausgabe (Bild links) der Fachzeitschrift *Astronomy & Astrophysics* mit den ersten Ergebnissen des Herschel-Teleskops. Vorteil dieser Entwicklung ist, daß die gleichen Daten für viele Sterne oder Wolken erfasst und ausgewertet werden, und die Ergebnisse gut miteinander vergleichbar sind. Nachteil ist aber, daß die Leistung individueller Wissenschaftler schwierig zu erkennen ist. Versuchen Sie mal, mich wiederzufinden auf dem Gruppenbild rechts!



**Figure 7.** The year 2010 was a turning point for submillimeter astronomy, where the field changed its working style from small groups to large consortia, as in the special issue of *Astronomy & Astrophysics* with the first Herschel results (left). The advantage of this development is that many stars and clouds are studied using the same data, which facilitates their comparison. The disadvantage is that the contributions of individuals to the results are hard to identify. Just try to find me in the group picture on the right!

## *Grote telescopen voor kleine golven*

**Bild 8.** Die Entstehung von Planeten bei neuen Sternen und die Entstehung von Leben auf diesen Planeten sind Forschungsziele für die Zukunft. Die Erfolgchancen dafür sind gut, wie folgende Schätzung zeigt. In der Milchstraße gibt es etwa 100 Milliarden Sterne, und etwa ebenso viele Planeten. Zur Entstehung von Leben braucht es flüssiges Wasser, und dafür muss der Planet die richtige Entfernung zum Stern haben (für die richtige Temperatur) und etwa so groß sein wie die Erde (für die richtige Luftdruck an der Oberfläche). Dies ist bei etwa 1% der Planeten der Fall, in der Milchstraße also bei 1 Milliarde Planeten. Die Entwicklung intelligenter Lebewesen ist dann eine Frage der Zeit: auf der Erde gibt es den Homo sapiens seit 100 000 Jahren, also 1/45000 des Alters der Erde. Deshalb gibt es wahrscheinlich auf etwa 22 000 Planeten in der Milchstraße Leben. Die große Herausforderung ist es, dies zu finden!



**Figure 8.** The formation of planetary systems around new stars and the development of life on those planets are research goals for the future. The chances of success are good, as the following rough estimate shows. The Milky Way has about 100 billion stars, and about the same number of planets. The development of life requires liquid water, and to have that, the planet must have the right distance from its star (for the temperature) and about the size of the Earth (for the surface pressure). This is the case for about 1% of planets, or about 1 billion planets in the Milky Way. The development of intelligent life is then a matter of time: on Earth, Homo sapiens has been around for 100,000 years, which is 1/45,000 of the Earth's lifetime. This suggests that life is probably present on about 22,000 planets in our Galaxy. The challenge is now to find it!

Een derde probleem in deze sociologie is het overdreven gewicht dat men tegenwoordig toekent aan publicaties in de tijdschriften *Nature* en *Science*. Dit zijn prestigieuze tijdschriften, met een hoge *impact factor*, wat neerkomt op het gemiddeld aantal citaties van artikelen in zo'n tijdschrift. Dat lijkt een maat voor kwaliteit, maar is het niet want het bevoordeelt vakgebieden waarin veel mensen werken, terwijl specialistische of nieuwe gebieden, waar eerst jaren van voorbereiding nodig zijn voordat dat vruchten afwerpt, bijna geen kans maken. Fixatie op *impact factors* is dus een perverse prikkel om on-originieel werk te gaan doen dat snel resultaat oplevert\*. Bijna net zo pervers als promotiepremies en studierendementseisen, die ertoe aanzetten om studenten die het eigenlijk niet kunnen toch maar met een zesje te laten slagen.

In het laatste deel van deze oratie wil ik graag een blik vooruit werpen en het met u hebben over de vraag of wij alleen zijn in het heelal (Figuur 8). Maar daartoe eerst iets over werkwijzen in de sterrenkunde. Vaak wordt ons vakgebied in één adem genoemd met de natuurkunde, waar het natuurlijk ook veel mee gemeen heeft. Maar het grote verschil is dat een natuurkundige een probleem aanpakt door in een laboratorium een opstelling te bouwen en te gaan meten, terwijl wij in de sterrenkunde onze telescoop op de hemel richten en maar moeten afwachten wat we zien. Het lijkt wat dat betreft wel op de archeoloog of paleontoloog, die gaat graven en ook maar moet afwachten welke stenen of fossielen hij tegenkomt. Gericht zoeken is daardoor moeilijk. Soms vinden astronomen iets waar ze helemaal niet naar zochten, maar dat zijn vaak juist hun mooiste vondsten!

---

\*Alberts, B., *Impact factor distortions*, Science 340, 787 (2013)

## *Grote telescopen voor kleine golven*

Een belangrijke vaardigheid voor sterrenkundigen is het kunnen schatten, en als illustratie hiervan heb ik een verhaal uit Chicago, waar de kernfysicus Enrico Fermi bij de studenten berucht was om zijn onverwachte vragen tijdens zijn colleges. Hij vroeg de studenten bijvoorbeeld eens hoeveel pianostemmers er in Chicago zouden zijn. De bedoeling was dan om het aantal inwoners te nemen (toen circa 5 miljoen), en in te schatten hoeveel daarvan piano spelen (zeg 1%, dus 50 000 mensen). Als die mensen nu eens per jaar hun piano laten stemmen, en elke stemmer 5 piano's per dag stemt, 25 per week, met 4 weken vakantie dus 1200 piano's per jaar, dan zijn er dus  $50000/1200 = 42$  pianostemmers in Chicago. Niet precies natuurlijk, want misschien stemt zo iemand er maar 4 per dag en spelen maar 0.5% van de mensen piano, maar een paar dozijn zullen het er wel zijn.

Schattingen à la Fermi zijn ook populair in de sterrenkunde, en ik wil als voorbeeld voor u schatten hoeveel intelligente beschavingen er zijn in het heelal. Het aantal sterren in de Melkweg is zoals ik eerder zei ongeveer 100 miljard. Sinds een jaar of 5 weten we dankzij HARPS en de Kepler-satelliet dat de meeste sterren ook planeten hebben, sommige zelfs meer dan een. Dus laten we het aantal planeten in de Melkweg ook maar even op 100 miljard stellen. Om daar leven te laten ontstaan moet er een vloeistof aan het oppervlak zijn, om organische verbindingen snel genoeg bij elkaar te brengen dat ze met elkaar reageren tot biomoleculen zoals DNA. De natuurlijke keus voor die vloeistof is water, dat over een groot bereik aan temperaturen en drukken vloeibaar is, en dat bovendien is opgebouwd uit twee van de meest voorkomende elementen: waterstof en zuurstof. De vorming van water in de ruimte en hoe dat water op planeten terecht komt is een belangrijk thema van mijn onderzoeksgroep in Groningen, maar dat water is allemaal in de vorm van damp of ijs. Voor vloeibaar water moet de planeet op de goede afstand van de ster staan (voor de juiste temperatuur), en

*Prof. dr. Floris van der Tak*

ongeveer zo groot als de Aarde zijn (voor de juiste luchtdruk aan het oppervlak). Met ons zonnestelsel als voorbeeld en op basis van de resultaten van de Kepler-satelliet kunnen we die twee factoren allebei op 10% zetten, samen dus 1%, zodat er 1 miljard planeten met leven zijn. Het moeilijkste is natuurlijk om te schatten hoe vaak er nu ook *intelligent* of althans meercellig leven ontstaat. Als we de Aarde als voorbeeld nemen: de soort *Homo sapiens* bestaat zo'n 100 000 jaar, en dat is 1/45000 van de leeftijd van de Aarde. Dan zouden er dus 22 000 beschavingen in de Melkweg zijn, en in het heelal als geheel nog vele malen meer.

Misschien is deze schatting aan de hoge kant omdat er hier op Aarde nog factoren hebben geholpen. De grote maan zorgt voor getijden, het magnetisch veld beschermt tegen kosmische straling, en de grote planeet Jupiter houdt de banen van de andere planeten stabiel. Komeet-inslagen zijn eerst onmisbaar om water en andere vluchtige stoffen te brengen, maar kunnen in een later stadium grote schade aanrichten, waardoor hier de dinosaurussen zijn uitgestorven. Gelukkig is eencellig leven zoals bacteriën extreem resistent, en kan meercellig leven dus opnieuw ontstaan (dat is op Aarde waarschijnlijk ook gebeurd). Zelfs met alle onzekerheid is voor mij de conclusie onontkoombaar dat er nog meer leven in de Melkweg is. De uitdaging is nu om het te vinden! Een bezoekje zit er niet in, en radiosignalen met verborgen boodschappen proberen op te vangen heeft in 40 jaar nog geen resultaat gebracht. Nu er echter rond de duizend exoplaneten bekend zijn kunnen we ook hun atmosferen onderzoeken, en sporen van zuurstof of ozon zouden op leven kunnen duiden. Voor dit doel worden nu missies ontworpen, en ik kijk uit naar de resultaten!

## *Grote telescopen voor kleine golven*

In deze oratie heb ik willen schetsen hoe de studie van ons universum zich heeft ontwikkeld van de pure astronomie in de oudheid, de studie van de posities en bewegingen van de sterren en de planeten. De ontdekking van spectraallijnen voegde daar de astrofysica aan toe, de ontdekking van moleculen tussen de sterren bracht ons de astrochemie, en met de zoektocht naar buitenaards leven zet de mens de eerste stappen van de astrobiologie. Ik ben er trots op om deel van deze ontwikkeling te zijn.

Tot slot dank ik het college van bestuur van deze jarige universiteit voor het vertrouwen dat zij met deze benoeming in mij stelt. Ook dank ik mijn collega's van SRON en van het Kapteyn-instituut voor hun vertrouwen in mij en voor onze prettige samenwerking.

I also want to thank my students and postdocs, and I am looking forward to many more inspiring scientific discussions with you.

Ook mijn familie en vrienden ben ik dankbaar voor hun vertrouwen en de vele mooie momenten die we samen hebben beleefd.

Aber am allermeisten danke ich dir, Antje. Du hast immer an mich geglaubt, und ich freue mich darauf, noch viele Jahre gemeinsam mit Dir zu verbringen.

U allen wens ik een leven in gezondheid, vrede en vrijheid.

Ik heb gezegd.