

University of Groningen

The role of neutral hydrogen in the life of galaxies and AGN

Gereb, Katinka

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2014

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Gereb, K. (2014). *The role of neutral hydrogen in the life of galaxies and AGN: A spectral stacking analysis*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. [S.n.].

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Nederlandse Samenvatting

Door alle chemische elementen in het universum, inclusief neutraal waterstof (HI), worden fotonen geabsorbeerd of uitgezonden met een specifieke frequentie. De bekende Nederlandse astronoom Henk van de Hulst voorspelde dat, vanwege een verandering van de een verandering in the energietoestand van waterstof, atomair waterstof (HI) elektromagnetische straling uitzendt op 1420,405 MHz. Deze frequentie valt in het bereik dat we radio noemen, en kan dus alleen worden opgevangen door radiotelescopen. Omdat we in een uitdijend heelal leven, is de straling die uitgezonden wordt door verre sterrenstelsels roodverschoven naar lagere frequenties wanneer we deze waarnemen. Volgens de wet van Hubble is de roodverschuiving proportioneel tot de afstand naar het uitzendende sterrenstelsel, waardoor de spectroscopische verkregen roodverschuiving voor een sterrenstelsel als een betrouwbare afstands indicator dient. Dankzij de vooruitgang in de radio astronomie en de bouw van telescopen, zoals de Westerbork Synthesis Radio Telescope (WSRT), de Karl G. Jansky Very Large Array (VLA), en vele andere in deze thesis genoemde faciliteiten, is het mogelijk om grote delen van de hemel tot relatief hoge roodverschuiving in HI te bestuderen.

Sinds het begin van HI waarnemingen, hebben ze geleid tot belangrijke ontdekkingen. Waterstof is het meest voorkomende gas in het universum, en het oergas waaruit sterren uiteindelijk vormen bestaat er grotendeels uit. Het gas in de schijf van de Melkweg bestaat bijvoorbeeld uit 70% uit waterstof in atomaire vorm. We weten ondertussen dat sterrenstelsels miljarden zonnemassa's (M_{\odot}) aan HI gas bevatten, dat soms gebieden ver buiten de stellaire schijf beslaat. Omdat sterren in kraamkamers van stervorming bestaande uit dicht moleculaire waterstof wolken ontstaan, is stervorming gerelateerd aan de aanwezigheid van gas. Neutraal waterstof biedt ook een goede mogelijkheid om te leren hoe in het universum interacties en fusies sterrenstelsels uit elkaar scheuren of juist bouwen. Verder suggereren waarnemingen dat HI deels verantwoordelijk kan zijn voor het ontsteken van een van de meest energieke fenomenen in het universum, doordat het de super zware zwarte gaten in het centrum van sterrenstelsels voedt.

Signalen die uitgezonden zijn door verre objecten zijn zwakker door de afstand, en

HI waarnemingen uit het hoog roodvershoven universum zijn hierdoor gelimiteerd door de gevoeligheid van de huidige telescopen. Van de volgende generatie radiotelescopen, bijvoorbeeld Apertif, de Australian Square Kilometre Array Pathfinder, MeerKat en later de Square Kilometre Array (SKA), wordt verwacht dat ze HI studies naar grote en kosmologisch significante afstanden brengen. Het bouwen van deze faciliteiten vereist echter een grote hoeveelheid werk, financiële ondersteuning en tijd, en het zal nog een aantal jaren duren voordat ze volledig operationeel zullen zijn.

In de laatste jaren zijn er echter ook statistische methodes beschikbaar gekomen om de detectielimiet van huidige radiotelescopen te verlagen, en daardoor kan men nu ook al HI waarnemingen doen tot aan relatief hoge roodverschuiving. Het stapelen van HI waarnemingen is effectief gebruikt om globaal de gemiddelde HI inhoud te bestuderen in grote verzamelingen van sterrenstelsels.

Omdat het doel van deze thesis het statistisch bestuderen van grote verzamelingen van verre sterrenstelsels is, wordt in dit werk spectroscopische gestapelde HI data geanalyseerd. Om een beter begrip te krijgen van de rol van HI in de evolutie van sterrenstelsels in de voorbije 1.5 miljard jaar, bestuderen we de HI eigenschappen van honderden sterrenstelsels door middel van stapel technieken. We kijken ook naar de eigenschappen van het gas bij de accreterende superzwarte zwarte gaten, ook wel actieve galactische nuclei (AGN) genoemd, om de interactie tussen AGN activiteit en het omliggende gas te onderzoeken.

8.1 HI gas eigenschappen van sterrenstelsels

Sterrenstelsels kunnen gebaseerd op hun morfologische verschijning worden verdeeld in twee hoofdtypes: spiraal stelsels en elliptischen. Spiralen, ook wel laat-type stelsels genoemd, zijn roterende systemen met heldere stellaire schijven, terwijl stelsels met bol of ellips vorm (vroeg-type stelsels) een chaotischere structuur hebben. Deze twee hoofdtypes stelsels blijken ook andere systematische trends te vertonen met andere eigenschappen. Het is al lang bekend dat de kleuren en lichtsterkte van sterrenstelsels verband houden met de morfologie. Typische laat-type spiralen zijn blauwer en hebben een lagere oppervlakte helderheid dan vroeg-type sterrenstelsels, die vooral rood zijn en meestal meer licht uitzenden. Deze observationele eigenschappen zijn gemakkelijk te interpreteren in de context van de geschiedenis van stervorming en -evolutie. Spiraalvormige stelsels vormen actief sterren en hebben dus blauwere kleuren door hun jonge stellaire populatie. Vroeg-type stelsels vormen normaal gesproken geen sterren, en hebben oudere en rodere stellaire populaties.

Dankzij 21 cm HI waarnemingen hebben de eerste studies aangetoond dat spiraalvormige stelsels bijna altijd relatief grote hoeveelheden HI bevatten, terwijl vroeg-type stelsels geen tot zeer weinig gas bevatten. Het leek dus alsof vroeg-type stelsels typisch 'rode en dode' systemen zijn. Later, door systematische HI bestuderingen van grotere verzamelingen sterrenstelsels, hebben we geleerd dat vroeg-type stelsels veel interessanter zijn dan simpele rode en dode sterrenstelsels. HI bevindt zich in een neergestreken schijf/ring structuur in ongeveer de helft van de gedetecteerde gevallen. In vroeg-type stelsels spant HI een groot bereik van massa's en kolomdichtheden, en samen met het feit dat de HI schijf vaak niet uitgelijnd is met de stellaire schijf, wijst dit er sterk op dat HI gas in vroeg-type sterrenstelsels een externe herkomst heeft. In ongeveer 70% van de stelsels met HI in het centrum zijn er ook tekenen van voortdurende stervorming

gezien. Dit betekent dat, ook al is het een gematigd effect, gasaccretie en hierop volgende stervorming een rol hebben in de evolutie van vroeg-type sterrenstelsels tot en met de dag van vandaag.

De genoemde studies zijn gedaan met directe waarnemingen in het nabije universum. Om het gehele proces van evolutie van sterrenstelsels te begrijpen, is het belangrijk om HI waarnemingen naar grotere afstanden te verplaatsen.

8.2 Stapelen van HI spectra

Het proces waarbij spectra van individuele sterrenstelsels wordt gecombineerd, heet ook wel 'HI stapelen', en het wordt gebruikt om een gemiddeld HI signaal te verkrijgen van de gestapelde verzameling. Bij het stapelen worden de spectra van verre stelsels teruggeschoven naar het rustkader en wordt de ruis-gewogen som van de spectra geproduceerd. Op deze manier kan men een gemiddeld HI signaal van de gestapelde spectra meten. Dit heeft als grote voordeel dat bij het combineren van de spectra de signaal-ruis verhouding wordt verbeterd, omdat de ruis vermindert met de vierkantswortel van het aantal gestapelde spectra. Hierdoor is deze methode niet alleen bijzonder handig om de gevoeligheid voor individueel ongedetecteerde sterrenstelsels te versterken in het nabije universum, maar vooral ook voor het verre universum waar de hoeveelheid licht uitzonden door individuele objecten niet groot genoeg is om door de huidige radio telescopen te worden waargenomen.

Spectroscopische onderzoeken zoals de Sloan Digital Sky Survey (SDSS) leveren niet alleen de roodverschuivingen die nodig zijn voor het stapelen van spectra, maar geven ook een grote hoeveelheid informatie over de optische eigenschappen, bijvoorbeeld de magnitude, kleur en emissielijnflux metingen. Een consequentie hiervan is dat het een effectieve manier is om de verkregen HI en optische informatie te combineren met data over een groot gedeelte van het elektromagnetische spectrum, zoals infrarood (IR) en ultraviolet (UV), om het maximale uit het stapelen te halen. Om een uitgebreider idee te krijgen van de aard van de geselecteerde stelsels, kan de verzamelde informatie gebruikt worden om verschillende eigenschappen van de groepen sterrenstelsels te definiëren. Men kan de relatieve HI hoeveelheid van de deelverzamelingen meten door middel van HI stapelanalyse, waardoor het mogelijk wordt om de rol van HI in de evolutie van verschillende types sterrenstelsels te bestuderen.

8.3 Gas en de evolutie van radio AGN

AGN-activiteit wordt geassocieerd met accreterende superzware zwarte gaten (ZG) in de centrale gebied van sterrenstelsels. Zulke ZG met massa's variërend van 10^6 tot $10^{9.5} M_{\odot}$, worden verwacht in ieder sterrenstelsel met een ronding te bestaan. Men gelooft dat AGN verantwoordelijk zijn voor het veranderen van de gaseigenschappen en de evolutie van sterrenstelsels door het verhitten of het buiten het sterrenstelsel blazen van het gas. Zulke terugkoppelingseffecten kunnen acteren door straling, accretie gedreven winden en radio jets. Van deze effecten wordt gedacht dat ze verantwoordelijk zijn voor het onderdrukken van stervorming in de massieve sterrenstelsels en voor het reguleren van de groei van de

ZG. De geschatte levensduur van een radio AGN is relatief kort, hoewel de activiteit in het radio verjongd kan worden en de sterrenstelsels de terugkoppelingseffecten van hun AGN steeds opnieuw kunnen voelen. Dus, een belangrijke vraag betreffende ons begrip van actieve kernen is of AGN activiteit normaal gesproken episodisch is, en zo ja, what the cyclus van activiteit is.

Nucleaire activiteit kan zich onthullen op verschillende manieren. Een bijzonder fascinerend type AGN zijn radio stelsels, welke bekend zijn om het lanceren van relativistische jets van radio plasma tot grote afstanden in het intergalactische medium. Radiotelescopen kunnen worden gebruikt om de radiofase van AGN-activiteit te bestuderen. Omdat nucleaire activiteit en de vorm van accretie in sterrenstelsels is gereguleerd door de beschikbaarheid van gas, is het cruciaal om een beter begrip van de fysische and kinematische condities van het gas in de circumnucleaire gebied om de AGN te verkrijgen.

Het peilen van de circumnucleaire gebied om de radio AGN via HI absorptie

Een belangrijke methode om de circumnucleaire gebied van galaxies te peilen, is via HI absorptie. Men kan op een efficiënte wijze zelfs kleine hoeveelheden waterstof in absorptie op hoge roodverschuiving detecteren. Door de jaren heen hebben HI absorptie waarnemingen op grote schaal bijgedragen aan ons begrip van complexe processen die plaatsvinden in de centrale gebieden van sterrenstelsels. Het is gebleken dat absorptie een scala aan structuren in AGN volgt: regelmatig ronddraaiende gasschijven, invallende HI wolken geassocieerd met het voedingsmechanisme van het centrale zwarte gat en HI gas dat uit het sterrenstelsel stroomt door interacties tussen de jets en het omringende medium. Daarom suggereert de complexiteit van HI kinematica in AGN dat gas veel verschillende rollen kan spelen in AGN.

Brede absorptielijnen geassocieerd met uitgaande HI stromen zijn over het algemeen zwak. Gedurende de laatste jaren is het aantal detecties van uitgaande stromen omhoog gegaan, vooral dankzij gevoelige waarnemingen, hoewel het aantal waarnemingen nog steeds klein is. Het is duidelijk dat voor een volledig begrip van de eigenschappen van HI in radio AGN, het noodzakelijk is dat er een grote en statistisch representatieve verzameling van sterrenstelsels wordt bestudeerd. Het observeren van een groot aantal objecten heeft als voordeel dat stapelexperimenten mogelijk zijn.

Twee bijzondere types radio stelsels, compact met een stijl spectrum (CSS) en gigahertz piek spectra (GPS) objecten zijn intrinsieke kleine AGN, die jonger zijn dan $< 10^4$ yr. Dit soort radio objecten lijken rijk te zijn aan HI, terwijl een groot deel van de uitgestrekte objecten nog niet gedetecteerd is. Volgens het tegenwoordig geaccepteerde paradigma, wordt AGN activiteit ontstoken tijdens de compacte fase van invallend gas, dus zijn CSS and GPS objecten de voorlopers van de uitgestrekte radio stelsels.

Door de jaren zijn er verschillende kenmerken van radio objecten geopperd voor het kenmerk van activiteit in het verleden. Nadat de nucleus is uitgegaan zal de lobstructuur verdwijnen door een gebrek aan voeding, al zullen gedurende een gelimiteerde tijd deze structuren herkenbaar zijn aan hun fossiele emissie. In het bijzonder moet worden opgemerkt dat veel van de opnieuw opgestarte objecten ook HI waarnemingen laten zien in de centrale gebieden. De veel voorkomende aanwezigheid van HI in herstarte AGN wordt geïnterpreteerd als een mogelijke verbinding tussen de aanwezigheid van koud gas en het opnieuw activeren van de AGN. De belangrijkste begrenzing van deze studies is dat er op het moment slechts een handvol van dergelijke radiorelieken bekend zijn. Verjongde

objecten vormen echter een sleutel element voor ons begrip van de cyclus van AGN activiteit, waardoor deze objecten steeds meer aandacht krijgen en het aantal objecten verhoogd wordt.

8.4 Deze thesis

In deze thesis gebruiken we stapel technieken om de globale HI inhoud van sterrenstelsels tot aan een roodverschuiving $z < 0.12$ te meten. We hebben vorige studies uitgebreid door multikleuren informatie te gebruiken en door de objecten onder te verdelen in verschillende deelgroepen, gebaseerd op optische emissie lijnen en AGN diagnostieken. We hebben geprobeerd om stervormende sterrenstelsels te scheiden van AGN door gebruik te maken van multigolflengte informatie. Specifiek hebben we ons gericht op het verband tussen HI gas met stervorming en ZG voedingsprocessen. Om de vraag te beantwoorden of nucleaire activiteit een effect heeft op de gasvoorraad van sterrenstelsels op grote schaal, hebben we op sterrenstelsels gemikt waar terugkoppeling waarschijnlijker is om op heterdaad betrapt te worden, namelijk AGN en sterrenstelsels in de groene vallei (met oudere sterren vergeleken met actief stervormende sterrenstelsels). De belangrijkste resultaten zijn:

- De verhouding tussen HI-massa en lichtsterkte veranderen niet significant als functie van roodverschuiving, wat suggereert dat de globale HI inhoud relatief constant blijft tot aan $z = 0.12$. Daarnaast vertoont de globale stervormingsefficiëntie een vergelijkbaar gedrag en blijft relatief constant gedurende de waargenomen roodverschuivingen. Dit kan worden geïnterpreteerd als een indicatie dat de HI inhoud en stervorming zijn gereguleerd door hetzelfde proces, bijvoorbeeld terugkoppelingseffecten en de omgeving van het sterrenstelsel.
- We detecteren HI in de blauwe en rode stelsels op $0.06 < z < 0.09$. Zoals verwacht zijn blauwe stelsels rijker aan HI, maar ook rode sterrenstelsels die zijn geselecteerd op $g - r$ optische kleuren vertonen relatief grote hoeveelheden HI in de gestapelde profielen.
- We detecteren geen HI in de rode stelsels die gedefinieerd zijn op basis van hun NUV - r kleuren. Stapelen is echter een veelbelovende techniek om de detectielimiet te verlagen van het relatief onverkende $< 10^7 M_{\odot}$ HI massa regime van sterrenstelsels door grote verzamelingen sterrenstelsels te gebruiken.
- Sterrenstelsels die zich in de groene vallei bevinden worden gedetecteerd met kleinere hoeveelheden HI dan blauwe sterrenstelsels, maar in tegenstelling tot rode sterrenstelsels die geselecteerd zijn vanwege hun NUV - r kleuren, is hun HI voorraad niet geheel uitgeput.
- In overeenstemming met vorige studies laten onze resultaten zien dat de aanwezigheid van HI beter gecorreleerd is met IR en NUV - r kleuren dan met ionisatie-eigenschappen. Sterrenstelsels geclassificeerd als groen/blauw en zelfs sterrenstelsels met hogere ionisatie eigenschappen, bijvoorbeeld Lage Ionisatie Nucleaire Emissie Regio (LINER) en optische AGN (geclassificeerd op basis van optische emissie

lijnen), bevatten koud gas. Dit suggereert dat optische AGN niet de (belangrijkste) reden zijn om gasreservoirs uit te putten, of dat AGN gedreven gas niet een instantaan effect heeft op sterrenstelsels.

- Niet alleen normale stervormende sterrenstels hebben HI gas en doorgaande stervorming, maar ook LINERs. LINERs kunnen worden onderscheiden in stervormende en niet-stervormende groepen op basis van hun IR-kleuren. LINERs met voortgaande stervorming vertonen ook vaak relatief grote hoeveelheden HI en worden vaak gedetecteerd in het radio continuüm. Niet-stervormende LINERs hebben al hun gas verloren. Radio LINERs in de laatste groep zijn de beste kandidaten waar lage-lichtsterkte AGN in voorkomen.
- In sterrenstelsels waar koud gas (HI) aanwezig is, zijn condities gunstig om (res-terende) stervorming te zien. Verder, in het grootste deel van de verzameling, hebben sterrenstelsels met meer gas ook een hogere stervormingssnelheid (blauwe wolk, stervormende sterrenstelsels).

In deze thesis hebben we voor de het eerst de mogelijkheid verkend om, gebruik makend van het stapelen van absorptielijnencentraal, HI te detecteren in AGN. Om de vraag te beantwoorden of radio activiteit ontstoken wordt door accretie van koud (HI) gas, hebben we de verschillen in gas eigenschappen bestudeerd tussen jonge en geëvolueerde radio objecten. De kinematica van het gas verschaft ons informatie over de gas accretie geschiedenis (inwaardse stromen) en terugkoppelingsprocessen vanwege interacties tussen het radio object en het gas (uitgaande stromen), en daarom hebben we dus twee verschillende type radio bronnen onderzocht. We hebben het voorkomen van uitgaande stromen onderzocht, onderzoekend hoe de gasuitputtingstijdschaal zich vergelijkt met de levenscyclus van AGN. Dit kan belangrijk zijn voor het begrenzen van terugkoppelingsmodellen, en voor ons begrip van het samenspel van AGN activiteit en HI gedurende het hele leven van een radio AGN. Op dit moment is het nog steeds niet duidelijk of AGN activiteit voorkomt in ieder sterrenstelsels, en wat de actieve dienst cyclus van de radio fase is. Omdat de beschikbare verzamelingen gelimiteerd zijn, is het moeilijk om volledig te begrijpen wat de rol van HI is in dit proces. We hebben gezocht naar meer gevallen van herstarte radio objecten en we hebben de eigenschappen van relikstructuren onderzocht.

- In een systematische studie van HI eigenschappen van radio AGN, vinden we dat 30 procent een representatieve HI detectie kans is voor de algemene populatie van deze objecten. De detectie kans hangt niet af van de schijnbare flux van een bron, suggererend dat HI absorptie studies van zelfs zwakkere radio bronnen nog steeds een groot aantal detecties zal opleveren. Dit resultaat heeft positieve gevolgen voor toekomstige studies, die AGN zullen observeren over een groot bereik aan fluxdichtheden.
- We vinden een tweedeling in de HI aanwezigheid. Zelfs als een groot aantal spectra zijn gestapeld, resulteert het stapelen ongedetecteerde bronnen in nondetecties van HI. Dit suggereert dat er objecten zijn die werkelijk uitgeput van HI zijn, of dat orientatie een rol speelt.
- Compacte, jonge AGN zijn rijk aan HI gas, wat de hypothese dat nucleaire activiteit in radio stelsels wordt ontstoken door voeding met koud gas ondersteunt. Ook heeft

HI in compacte bronnen een meer verstoorde verdeling, blauwverschoven lijnen en brede asymmetrische profielen komen bijvoorbeeld regelmatig voor in compacte AGN. Zulke HI-eigenschappen suggereren dat sterke interacties tussen AGN en hun rijke circumnucleaire medium waarschijnlijk gebeuren als jonge radio jets in de vroegste fases van hun nucleaire activiteit hun weg banen door het omliggende medium.

- Brede absorptielijnen vertonen grote asymmetriën, en we merken op dat symmetrische brede lijnen afwezig zijn in onze verzameling. Het gebrek aan symmetrie kan suggereren dat zulke brede profielen altijd ontstaan door veranderlijk gas.
- Als we zekere en voorzichtige gevallen beschouwen is het detectieniveau van outflows 5 % van onze gehele verzameling. Het relatief lage detectieniveau suggereert dat, als alle radio AGN een uitstroom fase meemaken in hun leven, de tijdschaal voor het uitputten van uitgaande HI stromen korter is dan de typische levensduur van radio stelsels.
- De detectie van HI absorptie in herstarte bronnen suggereert een verbinding tussen neutraal waterstofgas en verjonging van nucleaire activiteit, waar mogelijk HI de belangrijkste brandstof is om het centrale zwarte gat te voeden.
- Recente gebeurtenissen met stervorming laten ook een nauw verband zien met de aanwezigheid van HI in AGN. Sterrenstelsels met jonge stellaire population wijzen naar een hoge HI detectie niveau, suggererend dat stervorming in radio stelsels verband houdt met de aanwezigheid van een HI-rijk medium. Als gasaccretie een periodieke gebeurtenis is in radio stelsels, dan laat dit effect misschien ook een afdruk achter op de stervormingsgeschiedenis.

Acknowledgements

I think the good thing about astronomy (besides the obvious) is that it brings people together from all over the world, we have the chance to get to know different cultures, and to see places that we never even dreamed of before. I spent four wonderful years in the Netherlands, and during this time I've met great people and made awesome friends. I have to thank many people who made this possible and with whom I shared the Dutch life.

First of all, I have to thank my supervisors, Raffaella and Tom. When I first visited Astron to have my interview, you seemed like a really cool couple (with all due respect) and I was happy that you offered me this position. I didn't know much about HI studies, and only little later did I realize that I was given the chance to learn from two of the leading experts of the field! I remember how impressed I was when I saw HI in a cube for the first time, and I had this feeling many more times later thanks to our interesting projects. From you I have learnt that even scientific papers should tell a story (who knew?), you inspired me to become more independent and gave me a lot of freedom to follow my own way. You both showed me a way of how to become a better scientist, thank you for the opportunity! Raffaella, I could always count on your quick answer, thanks for always being there to guide me. Your cheerful attitude is always very comforting, and I like your jokes. Tom, it's easy to understand how much experienced someone is, if just by glancing at a plot or image he can tell you all the problems with the results. I hope one day I will master this skill of yours.

Filippo, it was nice to share ideas and to work with you, it's great that we wrote a paper together! You have been very helpful and supportive during my thesis writing period, I really appreciate that. I wish you good luck with you PhD, but you are in good hands, I do not worry.

Gergö, my half-Hungarian fellow and officemate, I am happy that we shared an office together. We could work next to each other in silence for hours, and that was great :) But of course non-silent moments were even better, as we could talk in Hungarian. By the way, I think you are a really good dancer! Anke, I think you are just so much fun! Wish you guys great time in Germany!

Eva, it is not a long time that you are my officemate, but I got to know you as a sweet and kind person. But I think this is already indicated by the fact that you like Calvin and Hobbes and Winnie the Pooh (which passions I totally share) :).

'HI friends': Anastasia, my girl, thank you for always being there to support and

cheer me up. We had a lot of fun together, hope you will visit me and we'll go surfing ;) Manolis, I promise you can always have one of my kibbelings. Antonino, I wonder if we will ever talk about something important... like AGN for example ;). Mustafa, my friend, your heart is big and your intentions always good, I wish you and Tuba nice times in the Netherlands. It was always nice to go to our meetings with the 'little' group, including Yiannis, Davide, Nadine, Mpati, Sarrvesh, Joris, Brad, Betsey. I would also like to thank Thijs and Mark for being so helpful with us.

The 'Phd Kapteyn' group: Giacomo, you always amaze me with all the quotes that you know from the top of your head :) Wish you good luck, arrivederci! Stefano, my Aclo buddy, good luck with all your goals, but first and foremost, you should eat more! :) Wouter, it was always good that I could drop by your office with all my random questions :). Shoko, you surprised me with nice emails sometimes, thanks for being so caring :) Laura, Marisa, Francesco, Aku, Steven, Aaron, Ajinkya, thanks for the nice lunches, crazy conversations and many nice events that we attended together. Take care of each other and hope to see you later.

Jasmina and Aleksandar, thanks for the nice dinners, concerts, you have been very good friends to me. Wish you and little Filip all the best and the happiest life!

Pratyush, you are a friend with whom it's easy to have fun, but I like arguing with you even more. Hope to visit you in India one day.

Rosina, it was always nice to chat and train with you, and I really like your style! Stephanie, Burcu, Stefania, I really like your easy-going personalities, you rock girls ;)!

Bertrand, it was great having you around :).

Edwin, your ambition and achievements are truly impressive. You are really cool, and also a good friend.

Hugo (van Woerden), thank you so much for your stories about the war and the early days of radio astronomy.

I have to thank a lot of people for the many conversations at happy hours, coffee breaks: Patrick, Johan, Veronica, Leon, Hans, Kyle, Hugo, Harish and Ivona, Jan, Joost, Stephen, Chris, and those whom I'm forgetting.

Hennie, Lucia, Jackie, Ginneke, Christa, Gonda, without you I would have been completely lost in all the bureaucratic processes. Thank you ladies for your patience and generous help over the years.

I would like to thank the Kapteyn Computer Group for their hard work. With special thanks to Wim for helping me so many times: mulțumesc, la revedere!

Vibor, Paolo, Giuseppe, John, George, thank you guys for the many lifts to Astron, these rides were always fun. Vibor, thanks for teaching me how to play squash.

Carmen, Elizabeth and Tom, Maura, Javier, Mike, Guiffre, thank you guys for the awesome times!

Drága szüleim, köszönöm nektek, hogy mindig mellettem voltatok és támogattatok az utamon. Lehet, hogy most messze költözöm, de jó tudni, hogy van egy hely ahová mindig szívesen hazavárnak, és ahová jó hazatérni. Ági, köszönöm, hogy a kedvenc testvérem vagy, nálad jobb testvért nem is kívánhatna az ember lánya! Kivánom, hogy legyetek Székellyel nagyon boldogok! Szófa! Endrus, köszönöm a borítót és a türelmedet a munka során! :)

Katinka Geréb
Groningen, September 2014