

Prof.dr. J.S. Kaastra

Röntgendiagnostiek in de ruimte: lijnen in het heelal



Universiteit
Leiden

Bij ons leer je de wereld kennen

Röntgendiagnostiek in de ruimte: lijnen in het heelal

Oratie uitgesproken door

Prof.dr. J.S. Kaastra

bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de

Hoge Energie Astrofysica

aan de Universiteit Leiden

op maandag 3 november 2014



**Universiteit
Leiden**

Mijnheer de Rector Magnificus, geachte collega's, kennissen, vrienden en familie,

Het wel moeilijkste woord in de titel van mijn oratie, röntgendiagnostiek, wordt door velen beter begrepen dan de goed Nederlandse woorden ruimte en heelal. Dat is allemaal letterlijk ver weg. En wat moeten we nu met lijnen? Ik hoop hier vanmiddag lijn in te brengen.

Röntgenstralen

Iedereen is goed bekend met de zegeningen en gevaren van röntgenstralen. Kwetsbare weefsels, zoals ongeboren kinderen, schermen we het liefste af voor deze stralen. Maar ziek weefsel kan letterlijk aan het licht gebracht worden door het met röntgenlicht te bestralen. We spreken hier van röntgenlicht, want in feite is het niets anders dan licht, zij het dan zeer energierijk, honderd tot duizendmaal sterker dan gewoon daglicht.

Men kan röntgenlicht op verschillende manieren gebruiken. In de medische techniek zendt men straling door een lichaamsdeel. Een deel van die straling wordt in het lichaam tegengehouden en van wat overblijft maakt men een foto. Zo maakt men in feite een afbeelding van de schaduw. In vaktermen heet dat een absorptiemeting. Men kan natuurlijk ook een afbeelding maken van de straling die door een object wordt uitgezonden. Dat wordt emissie genoemd, maar op aarde komt dat onder normale omstandigheden niet voor.

En dat brengt ons bij de ruimte. Het is afgezaagd voor een sterrenkundige om het over een mooie sterrenhemel te hebben. Maar iedereen kan zich daar iets bij voorstellen. Kijken we echter met röntgenogen naar de hemel, dan zien we naast de zon, maan en sterren, vooral ook een groot aantal zeer buitenissige bronnen.

Ik wil u vanmiddag meenemen naar die wondere wereld. Om u gerust te stellen, de aardse atmosfeer is dik genoeg om alle

buitenaardse röntgenstraling tegen te houden. Anders zou het leven hier ondragelijk zijn. Maar doordat de atmosfeer als een schild werkt, kunnen we dus ook niet vanaf de aarde de röntgenhemel bewonderen. Dat kan alleen maar met behulp van een satelliet in de ruimte. En hiermee komen we dus op het terrein van het ruimteonderzoek, een vak apart.

Het meten van röntgenstraling

Laat ik maar beginnen met een aantal technische zaken. De satelliet moet heel wat aan boord hebben. Allereerst moet de straling opgevangen worden, en het liefst natuurlijk afgebeeld op een camera. Een gewone telescoop bevat spiegels, waarop het sterrenlicht ongeveer loodrecht invalt en vervolgens naar het brandpunt van de telescoop geleid wordt, waar de afbeelding gemaakt wordt. De hoeveelheid licht die opgevangen wordt hangt dus vrijwel uitsluitend af van de oppervlakte van de spiegel.

Röntgenlicht heeft echter zo'n hoge energie, dat bij loodrechte inval de straling niet teruggekaatst wordt maar in de spiegel geabsorbeerd wordt. Alleen als de straling onder een kleine hoek afkijkt op de spiegel, net zoals sommigen een steen op het water kunnen laten ketsen, kan men de straling focuseren. Een röntgenspiegel staat dus bijna evenwijdig aan de lichtbundel die opgevangen moet worden, en er zijn dus heel wat gladgepolijste spiegeldelen nodig om een behoorlijk signaal te krijgen.

Maar daarmee zijn we er nog niet. Het licht moet opgevangen worden en het liefste opgesplitst in de röntgenkleuren die het bevat. Alle licht heeft naast golfeigenschappen ook deeltjeseigenschappen. Beide eigenschappen worden gebruikt om het licht in kleuren uiteen te rafelen.

Door tralies in de lichtbundel te plaatsen kan men het licht van verschillende golflengten onder verschillende hoeken laten afbuigen. Door nu achter de tralie een uitgerekte detector neer te zetten, kan men uit de plek waar het licht landt de golflengte

van het licht bepalen. Dit gebeurt onder andere bij de door mijn werkgever SRON gemaakte traliespectrometers op de XMM-Newton en Chandra satellieten, waarover ik later nog kom te spreken.

Een alternatieve methode maakt gebruik van de deeltjeseigenschappen van het licht. Ieder lichtdeeltje, ook wel foton genoemd, kan afzonderlijk gedetecteerd worden. Het is nu de kunst om naast het registreren van de aankomst van een foton, ook de energie van dat foton te bepalen. Daar zijn verschillende technieken voor.

De tot voor kort meest moderne techniek is de CCD chip, wel bekend van bijvoorbeeld uw fotocamera. Daarmee kan de energie van een foton met een precisie van 2 tot 30% bepaald worden, maar helaas in een groot aantal gevallen ligt het getal vaker bij de 30% dan bij de 2%. Het zal u dan ook niet verwonderen dat de helden van de kelder van SRON hard bezig zijn met de ontwikkeling van een nieuw soort detector. Daarover later meer.

Waarom willen we nu het röntgenlicht van sterren en andere bronnen uit elkaar rafelen? De reden is heel simpel: het vertelt ons heel veel over wat zich in die bronnen afspeelt. In het heelal is een klein dozijn aan verschillende processen werkzaam die röntgenlicht kunnen maken. Elk proces heeft zijn eigen karakteristieke verdeling van het licht over de verschillende kleuren, en vooral de zogenaamde thermische processen zenden zeer veel licht uit in heel nauwe kleurbandjes.

Spectraallijnen

Daarmee komen we terecht bij de lijnen, ofwel de spectraallijnen. Die worden teweeggebracht door atomen. Men kan zich een atoom vereenvoudigd voorstellen als een kern waaromheen een aantal elektronen draaien in verschillende banen, net zoals planeten om sterren hun rondjes maken. Met dit verschil dat er maar een beperkt aantal banen beschikbaar zijn voor de elektronen, en er maar één elektron tegelijk in een bepaalde baan kan zitten.

De laagste energietoestand is het meest populair, net als in de mensenwereld waar iedereen slapende rijk wil worden. Waar het in de maatschappij nogal eens aan een Balkenende-norm ontbreekt, kennen atomen wel een B-norm, de Bohr-norm, want het atoommodel van Bohr voorspelt de energie van de baan.

In de natuur is energie behouden. Wanneer nu een elektron van baan verwisselt, komt daarbij energie vrij. Die energie wordt overgedragen aan een ander elektron, of het wordt uitgestraald. Doordat de elektronen alleen maar bepaalde baanenergieën kunnen hebben, kan ook de energie van de uitgezonden straling alleen maar bepaalde waarden aannemen, en dus zien we de meeste straling uitsluitend bij specifieke golflengtes, en dat zijn de eerder genoemde spectraallijnen.

De onderlinge sterkte van de spectraallijnen bevat een schat aan informatie over wat er met de atomen gaande is, en daarmee dus over wat er gebeurt in het gebied waar die atomen voorkomen. Het voert hier te ver om dit uitgebreid uit te leggen. Dat zal ik doen tijdens mijn reguliere colleges hier in Leiden. Ik wil alleen een opsomming maken van wat voor soort informatie men uit die lijnen kan halen.

Allereerst is daar natuurlijk de hoeveelheid materie in de bron. Hoe meer materie, hoe meer straling tot op zekere hoogte. Verder kan men daaruit de temperatuur en dichtheid van het gas bepalen, de chemische samenstelling, de aanwezigheid van stof, van sterk versnelde elektronen of atomen, magneetvelden, turbulentie, of het gas geschokt is, en hoe lang geleden dat was, hoe snel het gas zich voortbeweegt, enzovoort.

Benodigde vakkennis

Ik hoop dat ik hiermee genoeg reclame heb gemaakt voor de diagnostiek die met röntgenstraling bedreven kan worden. Maar u moet nog even wachten op de toepassingen. Want het is geen sinecure om de eigenschappen van het gas dat de straling uitzendt uit de waarneemgegevens te halen. Daarbij zijn

verschillende expertises vereist, en bijvoorbeeld SRON heeft die vakkennis allemaal in huis.

Het is mij een genoegen om hier begeleid te worden door vier van mijn collega's, die allen een andere expertise vertegenwoordigen.

Allereerst is daar de instrumentkenner, hier vertegenwoordigd door Cor de Vries, iemand die van de hoed en de rand van alle onderdelen van het instrument weet en de ijking met soms letterlijk haarfijne precisie weet uit te voeren.

Dan heb je iemand nodig met verstand van zaken van computers en grote databestanden, want uiteraard kijken we niet door een telescoop maar alles wordt door de satelliet naar de aarde gezonden waar de gegevens bewerkt moeten worden. Daarvoor zit hier Jelle de Plaa.

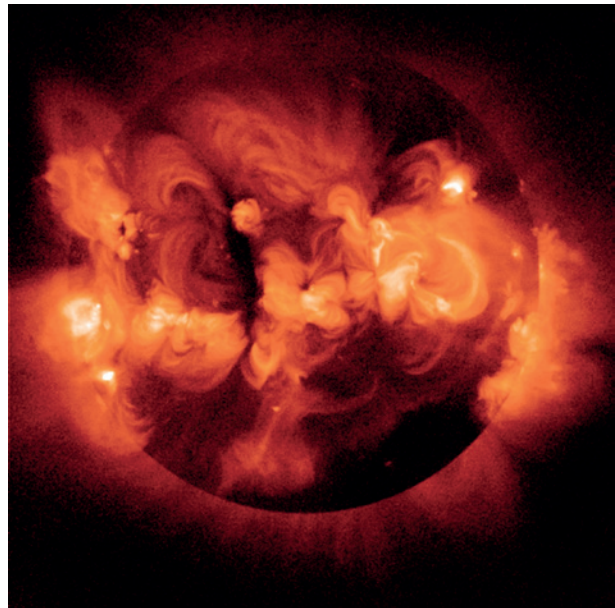
Verder is er iemand nodig zoals Ton Raassen, met grondige kennis van atoomfysica, want de vorming van spectraallijnen kan zeer ingewikkeld zijn, en als u dacht dat op dat gebied alle problemen opgelost zijn hebt u het mis.

En tenslotte is daar de astronoom, hier vertegenwoordigd door Elisa Costantini. Die probeert uit de wirwar van gegevens te achterhalen wat er gebeurt in de röntgenbron.

En daaromheen staat dan een heel leger aan mensen die het totale proces ondersteunen, van schoonmakers tot directeuren, maar ik wil hier vooral ook de enthousiaste postdocs, promovendi en studenten noemen die met hun jeugdige elan zich ingescheept hebben voor een ontdekkingsstocht door het heelal.

Het begin van het röntgenonderzoek in de ruimte

Het wordt nu langzaam tijd om ons te verdiepen in het soort hemellichamen dat we bestuderen. Laten we maar dicht bij huis beginnen, bij onze zon. De zon is de oudst bekende röntgenbron, als zodanig door Herbert Friedman in 1949 met



De zon in röntgenlicht. Yohkoh afbeelding - Greg Slater

behulp van een V-2 raket ontdekt. In Utrecht heeft zeer lange tijd belangrijk onderzoek naar de zon plaatsgevonden, dat vooral bekend is geworden door Minnaert. Uit deze groep kwam ook Kees de Jager voort. In de vroege jaren zestig is hij in Utrecht met het ruimteonderzoek begonnen. Van de Hulst deed hetzelfde in Leiden.

Al snel concentreerde het Utrechtse ruimteonderzoek zich op röntgenstraling van de zon, en SRON heeft daaraan belangrijke bijdrages geleverd. Om de röntgenspectra van de zon te kunnen begrijpen heb je echter kennis van de atoomfysica nodig. Om die reden huurde De Jager in 1970 Rolf Mewe in, iemand die ervaring had met spectroscopie. Rolf is een van de weinigen op de wereld geweest die een model voor het voorspellen van de röntgenstraling vanaf scratch heeft opgezet. Gedurende zijn gehele verdere carrière en daarna, tot zijn plotselinge dood op 68-jarige leeftijd, heeft hij dat model verder uitgebouwd. Ik

heb bijzonder veel van Rolf geleerd en ben dankbaar met deze sympathieke collega te hebben mogen samenwerken.

Die samenwerking kwam overigens pas toen ik na mijn promotie al een aantal jaren bij SRON in Leiden werkzaam was. Johan Bleeker, de drijvende kracht achter het Leidse ruimteonderzoek en later opvolger van De Jager als directeur van SRON, had als specialiteit röntgenstraling van supernova resten (ontplofte sterren). Zijn promovendus Fred Jansen hield zich daarmee bezig, en Fred en ik konden de encyclopedische kennis van Rolf op het gebied van de spectroscopie goed gebruiken. Daarmee groeide een jarenlange samenwerking.

Met de modellen voor röntgenstraling die Rolf en ik ontwikkeld hebben, samen met een aantal andere collega's, kunnen we dus de röntgenstraling van het heelal bestuderen. Vrijwel alles wat los en vast zit in het heelal kan röntgenstraling uitzenden of absorberen. Ik zal dat hier niet uitgebreid uitwerken, maar ik beperk me hier tot twee soorten bronnen: zwarte gaten en clusters van melkwegstelsels.

Zwarte gaten

Tijd dus voor het tweede onderwerp, zwarte gaten. Wat is een zwart gat? Een elf-jarige drukte het eens zo uit: "Een zwart gat is een gat. Als je erin valt, kun je er niet meer uitkomen". Dat is inderdaad een kernachtige samenvatting. Het is een gat in de ruimte, en voorbij de horizon is er geen weg terug.

Wat velen echter niet weten, is dat een zwart gat verre van zwart oogt. Door de sterke zwaartekracht wordt gas van grote afstanden naar de omgeving van het gat gezogen, waar het door een enorme draaikolk in de vorm van een schijf naar binnen wordt gebracht. Daarbij wordt het zo sterk verhit dat het röntgenstraling gaat uitzenden. De omgeving van het zwarte gat is dus uitzonderlijk helder, tot wel tien miljard keer helderder dan het zonlicht.

Ik beperk me hier vanmiddag tot de allerzwaarste zwarte gaten, die voorkomen in de kernen van melkwegstelsels, en een miljoen tot tien miljard keer zwaarder zijn dan onze zon. Ook onze eigen melkweg herbergt zo'n monster. Dat houdt zich, althans nu, vrij koest.

De zwarte gaten waar ik het met u over wil hebben zijn bijzonder actief. Net als met de monsters in de natuur moet die activiteit gevoeld worden. Soms wordt het gas dat tussen de sterren van een melkwegstelsel zit flink door elkaar geschud. Dat kan komen door een nabije passage of zelfs een botsing met een ander melkwegstelsel.

Het gas en de sterren die netjes en gracieus in regelmatige banen rondom de kern van het melkwegstelsel met daarin de "pit" van het zwarte gat draaien, worden dan verstoord door de extra zwaartekracht van het passerende of botsende stelsel en kunnen hierdoor in banen belanden die zeer dicht in de buurt komen van het zwarte gat. En dat leidt er dan toe dat er veel gas in de draaiende schijf rondom het gat belandt, en uiteindelijk door het zwarte gat verzvolgen wordt. Dat kan wel gaan om hoeveelheden van een zonsmassa per jaar.

Zoals ik eerder al aangaf wordt het gas dan verhit en gaat röntgenstraling uitzenden, vooral in de omgeving vlakbij het zwarte gat, op typisch tien keer de afstand tot de rand of horizon van het zwarte gat. Ultraviolet en gewoon licht wordt ook uitzonden in de buurt van het centrum, maar dat gebeurt meestal tien tot duizend keer verder weg van het gat. Infrarode en radiostraling komen van nog grotere afstanden. Wil men dus de omgeving van het zwarte gat bestuderen, dan is röntgenstraling het geijkte middel.

Exosat

Zoals sommigen van u wellicht weten ben ik na mijn promotie in Utrecht bij SRON in Leiden komen werken, en ik ben blij

dat ik na twintig jaar hier de draad - de lijn - weer mag oppakken. Destijds was ik betrokken bij de analyse van gegevens van de EXOSAT satelliet, een ESA missie die begin jaren tachtig van de vorige eeuw vloog. Een van de onderwerpen die ik daarmee bestudeerde waren actieve melkwegstelsels, dat zijn dus die melkwegstelsels met een actief zwart gat in het centrum.



De EXOSAT satelliet. Afbeelding: ESA

Voor zijn tijd was EXOSAT heel geavanceerd - mijn huidige collega's zullen daar om glimlachen. Het had een heuse afbeeldende röntgenspiegel aan boord, maar de detector was simpel en alleen door er filters voor te zetten kon men enige zeer ruwe spectrale informatie afleiden. Daarnaast was er een detector met proportionele telbuizen aan boord, waarmee een spectraal oplossend vermogen van maar liefst 20% gehaald kon worden, maar dan wel zonder dat er een afbeeldende spiegel voor zat. Alles wat binnen een graad van de kijkrichting zat werd meegenomen in het signaal, dat daardoor veel ruis bevatte.

Dat gebrek aan afbeeldend vermogen bracht ook risico's met zich mee. Ik vertel u daar graag een anekdote over, ter lering

en vermaak. In 1989 verbleef ik een maand in Japan, om met de Japanse Ginga-satelliet te werken. Die bezat een vergrootte editie van de proportionele teller van EXOSAT.

Een andere gast werkte daar aan de gegevens van NGC 6814. Dat was een bron die periodieke signalen bleek te vertonen, en het gonsde in de hoge-energie wereld dan ook van de modellen om dat te verklaren, zoals bijvoorbeeld van een ster die te dicht bij het zwarte gat is gekomen en daarbij periodiek door de schijf ploegt, elke keer een pufje gas achterlatend, totdat hij uiteindelijk opgeslokt zal worden.

Ook ik was samen met Nico Roos al ver met zo'n model, maar gelukkig hebben we het nooit gepubliceerd. Wel, waarom gelukkig? Het bleek dat er op een halve graad naast NGC 6814 nog een andere bron in het beeldveld stond, en dat was een cataclysmische variabele, een soort dubbelster waarbij de regelmatige baanbeweging van de sterren een periodiek signaal opwekt. Het raadsel werd opgelost omdat iemand de moeite nam om het veld met een afbeeldende röntgentelescoop te bestuderen. Einde verhaal.

Wat ik hiermee wil aangeven is dat de combinatie van afbeeldend vermogen, spectraal oplossend vermogen en tijdsoplossend vermogen de ideale mix biedt om sterrenkundig onderzoek te doen, en het liefst alles zo goed mogelijk. Zover was het met EXOSAT nog lang niet.

Wat deze satelliet wel ontdekte was het zogenaamde zachte excès in actieve melkwegstelsels. Met de eerste generatie röntgensatellieten had men al wel kunnen vaststellen dat het spectrum van dergelijke bronnen gedomineerd werd door een vrij saai machtswetspectrum. EXOSAT vond nu een excès, extra zachte röntgenstraling dus, waarvan we nu denken dat het rechtstreekse emissie is van de schijf die rond het zwarte gat draait.

Vooroordelen

Het duurde echter nogal een tijd totdat iedereen ervan overtuigd was dat deze component echt bestond. Naast de Europese EXOSAT satelliet was er op hetzelfde moment ook nog een Amerikaanse röntgensatelliet in de ruimte, en de ijdeltuinen hadden hem Einstein gedoopt. Als Einstein dit niet zag, kon het toch niet waar zijn?

Dit soort vooroordelen kom ik nog geregeld in mijn vakgebied tegen, helaas. Bijvoorbeeld bij het vergelijken van gegevens van onze eigen Nederlandse RGS detector met de Duitse pn detector. Dan heeft per definitie het Duitse instrument gelijk.

Of bij het gebruik van verschillende spectroscopische gereedschappen - waarbij sommige mensen niet van het alom aanwezige XSPEC willen afstappen - het lijkt haast wel een zelfde soort massa begoocheling te zijn als met Windows van Microsoft.

En dan is er nog de grote meute die weliswaar tijdens de natuurkundeles netjes geleerd heeft om met meters, Joules en kilogrammen te werken, maar omdat “iedereen” in de sterrenkunde het nog steeds doet, domweg terugvalt op centimeters, ergs en grammen. Het wordt tijd om een artikel te schrijven met Rijnlandse roeden, Friese pondematen en nautische knopen. En dan kijken wie er nog een touw aan kan vastknopen.

EXOSAT had ook sterke variabiliteit in de röntgenstraling van actieve melkwegstelsels gezien op tijdschalen van minuten tot dagen. Hoe sterker de bron, hoe langer de tijdschalen waren. Dit vormde een van de beste bewijzen voor het bestaan van zwarte gaten in dit soort systemen.

Ook hier duurde het nog geruime tijd, voordat veel mensen hun vooroordelen lieten vallen, namelijk toen men met de Hubble ruimtetelescoop de bewegingen van sterren rondom zwarte gaten in nabije sterrenstelsels kon waarnemen. Hier is het vooroordeel dat iets pas “echt” is als je het met het blote

oog - al dan niet met een telescoop - kunt zien in zichtbaar licht. Maar röntgenstraling is net zo echt als zichtbaar licht of radiostraling.

Het verband tussen tijdschaal en lichtkracht van de actieve melkwegstelsels was beschreven door Paul Barr en Richard Mushotzky. Met de eerste heb ik een artikel geschreven over de EXOSAT gegevens van het actieve stelsel NGC 5548, een bron die nog een paar keer terugkomt vanmiddag.

EUVE

Ik had al aangegeven dat EXOSAT zo zijn beperkingen had. Een grote stap voorwaarts was de Amerikaanse EUVE satelliet. Deze bezat een aantal traliespectrometers en leverde voor het eerst op grote schaal hoge resolutie spectra op van alle mogelijke röntgenbronnen. Dat was weliswaar bij zeer lange golflengtes, en het is de vraag of je deze straling nu “zachte” röntgenstraling dan wel Extreme Ultraviolette straling moet noemen, maar met gegevens van deze satelliet hebben Rolf Mewe en ik pas goed onze spectroscopische code verder kunnen ontwikkelen en aan waarnemingsgegevens toetsen. Ook de al eerder genoemde bron NGC 5548 hebben we met EUVE waargenomen, maar je had hierbij weken waarnemingsnodig om een nogal ruisig signaal op te vangen.

Chandra en XMM-Newton

De echte geboorte van de hoge resolutie röntgenspectroscopie vormde de lancering van de Chandra en XMM-Newton satellieten in 1999. Beiden werken op dit moment nog perfect. Het was een soort herhaling van zetten: net als met Einstein en EXOSAT rond 1980 hadden ook nu NASA en ESA weer hun eigen concurrerende satelliet. Daarbij is de Amerikaanse Chandra-satelliet erg goed in het maken van scherpe afbeeldingen en de Europese XMM-Newton satelliet is het meest gevoelig.

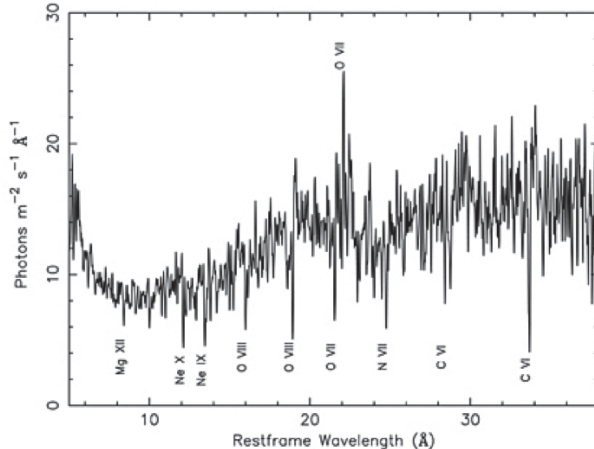
SRON had in de loop van de jaren ervaring opgebouwd met het maken van röntgenralies, waarmee het röntgenlicht in kleuren uitelkaar gerafeld wordt. Met deze ervaring in huis

probeerde men toen een hoge resolutie traliespectrograaf op zowel Chandra als XMM-Newton geplaatst te krijgen.

Er was concurrentie, maar de SRON tralies kwamen als beste uit de bus en konden op beide satellieten geplaatst worden. Een prachtig resultaat, maar een financiële ramp, want het betreft hier een “gratis” levering (gratis voor NASA en ESA, wel te verstaan). Gelukkig werd een goede oplossing gevonden door op Chandra de voormalige concurrent, de Duitsers, als meebetalende onderaannemer in te huren. Een pracht staaltje diplomatie van Bert Brinkman.

Winden van zwarte gaten

We keren nu weer terug naar de actieve melkwegstelsels. Met de SRON traliespectrometer op Chandra werd in 1999 het allereerste hoge-resolutie spectrum van een actief melkwegstelsel gemeten, en wel dat van de al eerder genoemde bron NGC 5548.



Het eerste röntgenspectrum van NGC 5548, gemeten met de Chandra LETGS spectrograaf in 1999. De lijnen worden veroorzaakt door absorptie in de wind.

Toen Rolf en ik naar dat eerste spectrum keken waren we teleurgesteld. Het leek alsof het alleen maar uit ruis bestond. Dat

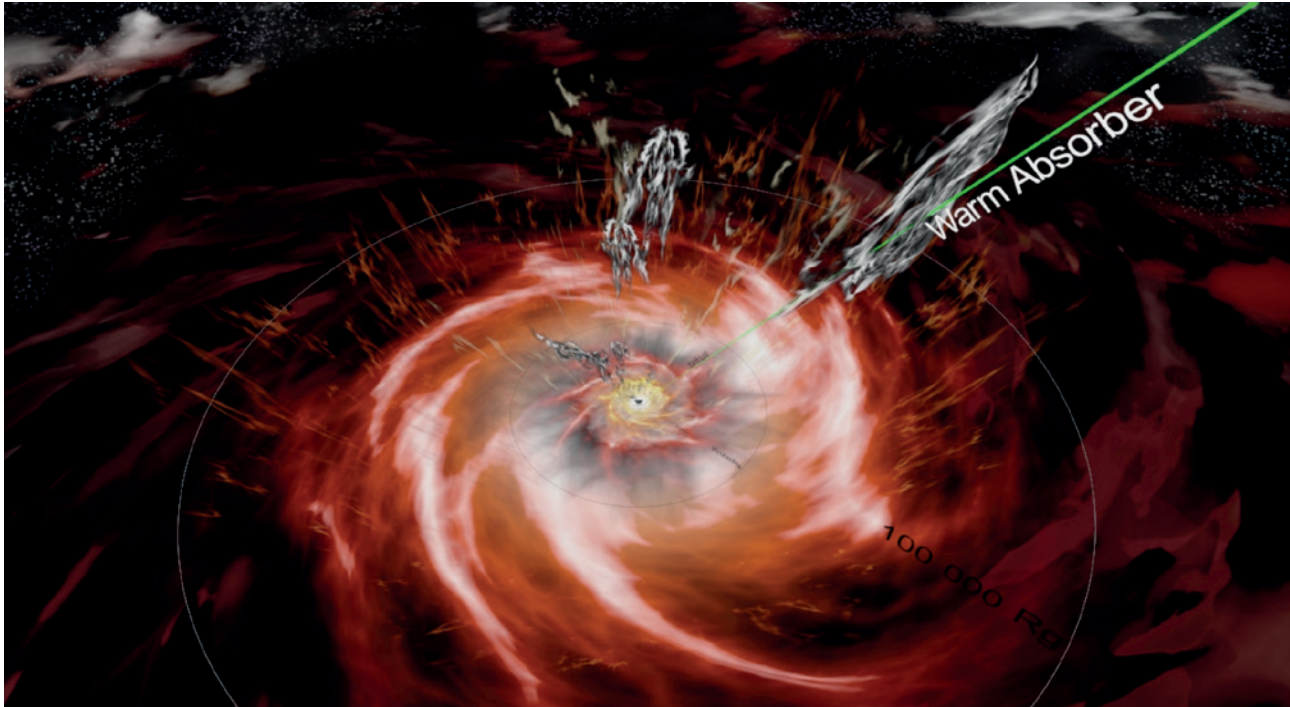
kwam omdat we de uitgebreide informatie van het spectrum probeerden samen te persen op een velletje A4.

Maar na nadere bestudering van details zagen we toch ergens iets wat op zuurstoflijnen leek. En een geoefende spectroscopist weet dan dat als je de ene lijn ziet, je ook andere lijnen moet zien, en inderdaad, de ene na de andere lijn kon geïdentificeerd worden. Het bleek dat we een sterke wind gezien hadden die gas met snelheden van honderden km/s van het zwarte gat wegblaast. De wind verried zichzelf door de achterliggende straling te absorberen.

Dit vormde het begin van een nieuwe tak van sport, het onderzoek naar winden van zwarte gaten. Het heeft een groot aantal prachtige resultaten opgeleverd. In 2002 hebben we NGC 5548 nog langer waargenomen, en de details die daarbij zichtbaar werden leidden tot dieper inzicht in deze bronnen.

Maar men wil natuurlijk altijd meer. Meer betekent ook meer waarneemtijd, en zo heb ik samen met een grote groep collega's in 2009 het stelsel Markarian 509 bestudeerd. Door te zien hoe de wind reageert op veranderingen van de helderheid van de actieve kern kan men bepalen hoe ver de wind afzit van het zwarte gat en hoeveel materie en energie hij meeslept. Deze campagne had veel succes en leidde tot 15 publicaties. Maar gedragen alle bronnen zich hetzelfde?

Satellieten zoals XMM-Newton kunnen door hun baan om de aarde niet altijd alle delen van de hemel zien, en zodoende was onze eerdere bron NGC 5548 een aantal jaren niet waargenomen. Maar in 2013 konden we hem weer goed zien en hebben we opnieuw een uitgebreide waarneemcampagne opgezet met een hele ruimtevloot van zes satellieten. Het vlaggenschip was uiteraard XMM-Newton, maar daarnaast deden ook de Hubble ruimtetelescoop mee, Chandra was van de partij en verder nog drie andere satellieten.



Cartoon van de gasstromen en winden in NGC 5548. Credit: Renaud Person

Toen de eerste gegevens binnenkwamen stonden we versteld. Het leek alsof onze RGS spectrometer kapot was - er was nauwelijks een signaal te zien. Nadere inspectie leerde dat de RGS gezond en wel was, maar dat de bron dertig keer zwakker was dan normaal.

Uit de gecombineerde gegevens kwam naar voren dat we een nieuw soort gasstroom vlak bij het zwarte gat hadden gevonden. Een dikke gasstraal die met 5000 km/s naar buiten vliegt blokkeert op dit moment het grootste deel van het zachte röntgenlicht van NGC 5548. Hij zorgt voor een schaduw waardoor gas dat er achter ligt wordt afgeschermd voor de röntgenstraling en daardoor minder sterk geïoniseerd is.

Zulk gas in de schaduw van de stroom kan makkelijk door ultraviolet licht worden versneld tot winden met orkaankracht. Dat proces wordt verondersteld werkzaam te zijn in de allereerste actieve melkwegstelsels, en hier hebben we het dus voor het eerst gezien, volkomen onverwacht.

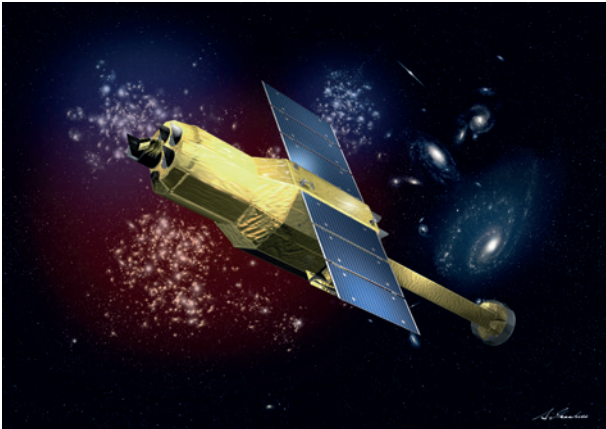
Dat brengt mij bij een ander punt. Geldschietters eisen tegenwoordig veelal van onderzoekers die subsidie aanvragen dat de resultaten van het onderzoek tot in detail worden voorspeld. Men zou haast denken dat het dan weinig nut meer heeft om het voorgestelde programma uit te voeren, als de uitkomsten al van tevoren vastliggen. En het laat geen ruimte voor onverwachte ontdekkingen zoals bovengenoemde vondst.

Bovendien moet de onderzoeker tegenwoordig uitgebreid het maatschappelijk belang van het onderzoek aantonen - lees: kun je er geld mee verdienen? Nee, waarde geldschieters, kennis is macht¹, en geld maakt niet gelukkig.²

Terug dus naar de zwarte gaten. Een aantal collega's suggereert het bestaan van UFO's. Dat zijn geen vliegende schotels, maar Ultra Fast Outflows - zeer snelle gasstromen - heel heet gas met snelheden tot wel drie tiende van de lichtsnelheid. Als die echt bestaan dragen ze zoveel energie dat ze de ontwikkeling van het zwarte gat en het omliggende melkwegstelsel sterk beïnvloeden - ze blazen zo sterk dat de groei van het zwarte gat ingeperkt wordt. Om het bestaan van deze winden echt aan te tonen is er een nieuwe satelliet nodig.

ASTRO-H

ASTRO-H, een Japanse satelliet met een revolutionaire nieuwe detector aan boord, zal zulke winden vinden als ze bestaan. Ook SRON draagt bij aan deze Japanse satelliet die over een jaar gelanceerd zal worden.



ASTRO-H

Het vernieuwende aan de detector van ASTRO-H is dat het röntgenlicht niet eerst door een tralie in kleuren uit elkaar

getrokken hoeft te worden, maar dat de detector de energie van elk binnenkomend foton heel nauwkeurig meet. De lichtopbrengst is veel groter dan bij een tralie, maar bovenal kan men ook voor het eerst zeer goede spectra maken van bronnen die ruimtelijk uitgebreid zijn - bronnen die bijvoorbeeld een afmeting van een graad aan de hemel hebben.

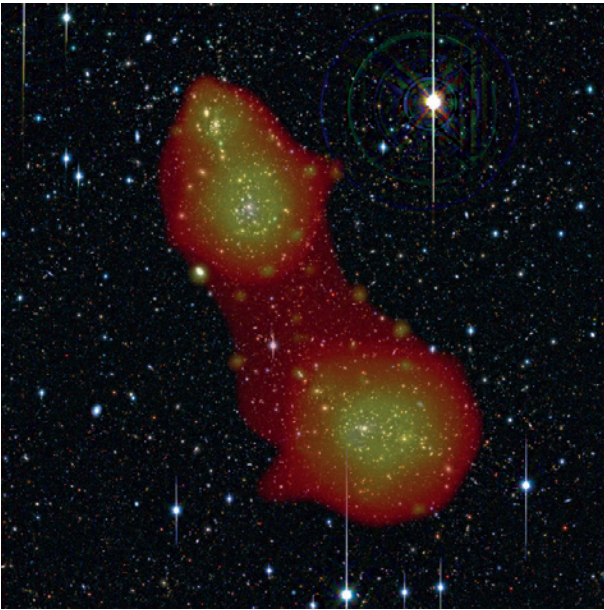
Clusters van melkwegstelsels

Dat brengt ons bij het derde onderwerp van vanmiddag, clusters van melkwegstelsels - grote groepen die honderden tot duizenden melkwegstelsels bevatten en die zijn ingebed in heet en ijl gas dat röntgenstraling uitzendt. Wat gaat ASTRO-H ons hier brengen? Ik verwacht daar samen met drie Leidse promovendi, twee postdocs, andere collega's op SRON en bijna tweehonderd collega's in het buitenland nieuwe onderzoeklijnen voor te kunnen ontwikkelen.

Wat willen we zoal doen met ASTRO-H op dit gebied? Veel clusters hebben in hun kern een extra groot melkwegstelsel, dat op zijn beurt weer een superzwaar zwart gat bevat.

In tegenstelling tot de actieve melkwegstelsels die we eerder bespraken, die met de sterke winden en hoge lichtkracht, zijn de zwarte gaten in dit soort clusterstelsels veel geniepiger: men ziet ze nauwelijks maar ze stoten wel enorme hoeveelheden deeltjes met hoge snelheden uit. Deze deeltjes spuiten in gerichte stromen langs de draaiingsas van het gat naar buiten en beïnvloeden hun omgeving tot op miljoenen lichtjaren afstand.

Uiteindelijk dumpen ze hun energie ver van het zwarte gat, wat weer voor verhitte zorgt. Zonder die extra kachel zou het ijle gas in de cluster verder en verder afkoelen door het uitzenden van röntgenstraling, en het koude gas dat daarbij zou ontstaan zou uiteindelijk sterren kunnen vormen of op het zwarte gat terecht komen. Ook hier is er weer een terugkoppeling van de groei van het zwarte gat met zijn omgeving. Hoe die verhitte en afkoeling nu precies gebeurt, kan uitstekend met ASTRO-H bestudeerd worden.



Het paar clusters Abell 222 en Abell 223 in gewoon licht (foto) en röntgenlicht (geel en rood). Credit: Norbert Werner.

Hoewel clusters heel oud zijn, zijn ze nog geenszins volgroeid. Nog steeds vallen er individuele melkwegstelsels of groepen melkwegstelsels in op clusters, aangetrokken door het sterke zwaartekrachtveld. Ook kunnen clusters soms met elkaar botsen.

Dergelijke interacties veroorzaken - hoe zou het ook anders kunnen - sterke schokken, waardoor cluster gas verhit wordt en nog meer röntgenstraling gaat uitzenden. Ook versnellen de schokken elektronen, en die versnelde elektronen kunnen weer speciale röntgenlijnen opleveren. Doordat ASTRO-H die straling bestudeert, kunnen we dus meer te weten komen over wat er precies gebeurt bij dit soort grootschalige schokken. Daarbij levert de radiostraling die mijn Leidse collega's met de LOFAR telescoop meten belangrijke aanvullende informatie.

In de melkwegstelsels van de cluster worden voortdurend nieuwe sterren geboren en eindigen andere sterren hun leven. Zware sterren ontploffen als supernova en kunnen daarbij grote hoeveelheden gas uitstoten. Dat gas is verrijkt met alle chemische elementen die de ster doormiddel van kernfusie in zijn leven of gedurende de laatste ademtocht geproduceerd heeft. Lichtere sterren zoals de zon stoten aan het einde van hun lange leven ook de chemisch verrijkte buitenlagen uit, maar op minder gewelddadige wijze.

Elke generatie sterren produceert dus nieuwe zwaardere elementen zoals koolstof, stikstof, zuurstof, en ijzer, allemaal noodzakelijke bouwstenen voor het leven op aarde. Op den duur gaat het heelal dus steeds meer zware elementen bevatten. Het is al langer bekend: de meeste atomen in uw lichaam zijn ooit in sterren gemaakt. De door de stervende sterren gevormde elementen komen uiteindelijk terecht in de ruimte tussen de sterren. Dat verrijkte gas kan dan weer in nieuw geboren sterren terecht komen, of uiteindelijk in het hete gas van de cluster.

Clusters hebben een zeer grote massa. Door de daarmee samenhangende sterke zwaartekracht kan het hete gas in de cluster niet ontsnappen. Als we nu met ASTRO-H dus het röntgenspectrum van een cluster meten, bedrijven we kosmische archeologie: we zien het eindresultaat van miljarden jaren ontwikkeling van de cluster. Uit de verhoudingen tussen de elementen kunnen we zelfs zaken afleiden als hoeveel sterren van welk type op welk tijdstip aanwezig waren. Elk type ster heeft namelijk zijn eigen unieke "DNA" imprint, zijn eigen chemische productie.

Athena

ASTRO-H gaat bovengenoemd onderzoeksveld openen, te beginnen in 2015. Maar de techniek staat niet stil. ESA heeft verleden jaar besloten een nieuwe röntgensatelliet te bouwen die in 2028 gelanceerd zal worden. Deze missie heet Athena, naar de Griekse godin van de wijsheid, en - het verhaal wordt

eentonig - ook SRON is betrokken bij de bouw van het belangrijkste instrument, dankzij vijftien jaar investeren in de techniek achter dat instrument. Tel daar de veertien jaar tot de lancering nog bij op, en wie weet nog vijftien jaar of meer succesrijke waarnemingen. U ziet, voor ruimteonderzoek moet men de lijn vasthouden gedurende bijna een mensenleven, maar de resultaten mogen er dan ook zijn.

Hoge energie astrofysica, en in het bijzonder de röntgenspectroscopie, is dus nog volop in ontwikkeling. Daarom ben ik blij dat ik dit mooie vak hier in Leiden mag geven, een universiteit met een zeer oude traditie die de vrijheid van het onderzoek hoog in het vaandel heeft staan en op een breed scala aan terreinen, waaronder de sterrenkunde, mede leidinggevend is in de wereld.

Schrijfvaardigheid

In het huidige onderzoeksklimaat krijgt men niets cadeau. Voor grote faciliteiten zoals een ruimtetelescoop is veel geld nodig, en naast kennis en kunde om zo iets te ontwerpen moet wel eerst in een uitermate zware competitie het voorstel beter geacht worden dan dat van de concurrentie.

Die concurrentie komt ook voor bij het schrijven van voorstellen voor waarnemingen met zo'n instrument, en bij het schrijven van voorstellen voor het krijgen van geld voor de aanstelling van promovendi of postdocs om onderzoek te doen. In al deze gevallen - het verkrijgen van instrumenten, waarneemtijd en menskracht - is de overvraging groot - zeven tot tien keer meer vraag dan de beschikbare middelen of tijd toelaten is vrij gebruikelijk.

De voorstellen moeten dus bijzonder sterk zijn, en de gemiddelde indiener vangt dus meestal bot, terwijl aan de andere kant de commissies die de voorstellen moeten beoordelen veel tijd verkwisten aan het lezen van voorstellen die uiteindelijk niet gehonoreerd kunnen worden. Verspilling van tijd en moeite op grote schaal. Daarbij maakt het niet uit of het landelijk,

Europees of mondiaal is.

Ik heb het proces veelvuldig meegemaakt - als indiener en beoordelaar, en ik besteed noodzakelijkerwijs een aanzienlijk deel van mijn tijd aan dit soort zaken, gemiddeld misschien wel een dag in de week. *Bij dat alles ben ik tot de stellige overtuiging gekomen, dat de alfa-kwaliteiten van de onderzoeker hierbij nog belangrijker zijn dan de bèta-kwaliteiten.* Natuurlijk, het voorstel moet zinvol en goed zijn, maar alleen de voorstellen die een heldere verhaallijn hebben, ook voor niet-experts begrijpelijk opgeschreven zijn, grammaticaal correct zijn, zonder opvallende spelfouten, typografisch gaaf en prettig leesbaar, alleen die voorstellen hebben een duidelijk verhoogde kans van slagen.

Ik zal er dan ook bij al mijn studenten en promovendi op blijven hameren om aan deze voorwaarden te voldoen, ook bij het schrijven van wetenschappelijke artikelen, en zich niet te verschuilen achter smoezen als "dat doet iemand anders wel voor mij" en "ach, als de wetenschap maar correct is". Hoe verwacht je dat de lezer het werk serieus neemt als de auteur blijkbaar niet de moeite neemt om het eigen brouwsel zelf eerst door te lezen? Scholing is ook hier uitermate belangrijk.

Genealogie

Dat brengt mij dan op het laatste onderdeel van vanmiddag. Ik wil u meenemen naar de genealogie. Dat is een boeiend onderzoeksgebied, en zoals sommigen van u weten houd ik mij in mijn schaarse vrije tijd daar ook mee bezig. Nee, u hoeft niet bang te zijn voor eindeloze verhalen over mijn voorgeslacht. Maar ik wil u wijzen op een interessante parallel. Dat gaat als volgt.

Elk onderzoek, ook sterrenkundig onderzoek, bouwt voort op resultaten die in een lange reeks van jaren zijn verkregen door een groot aantal onderzoekers. Dat onderzoek wordt vastgelegd in de vakliteratuur.

Maar minstens even belangrijk is datgene wat niet altijd wordt opgeschreven, de werkwijze van de onderzoeker in bredere zin. Iemand heeft de onderzoeker opgeleid, en hem of haar een manier van denken en werken bijgebracht. De hand van de meester is zichtbaar in het werk van de leerling, hoewel leerlingen natuurlijk ook vanuit die opgebouwde basis een eigen stijl ontwikkelen en die ook weer aan hun leerlingen verder kunnen geven. Verder vormt het specifieke onderzoeksgebied van de leermeester vaak de bakermat voor het onderzoek van de leerling.

Net zoals in familieverband genen en gebruiken van geslacht op geslacht worden doorgegeven en zich verder ontwikkelen, zo kan men ook bij onderzoekers een doorgaande lijn bespeuren.

Wiskundigen van de North Dakota State University hebben een project opgezet, het Mathematics Genealogy Project.³ Dat probeert de leermeester - leerling familiegeschiedenis van wiskundigen te reconstrueren. Maar hun database omvat op dit moment veel meer dan wiskundigen alleen. Velen onder u zullen hun wetenschappelijke stamboom daar kunnen achterhalen. Ik zal u ter illustratie meenemen naar mij wetenschappelijk voorgeslacht.

Ik heb mijn opleiding genoten - en ik heb er van genoten - aan het Utrechtse Sterrenkundig Instituut. Mijn copromotor Jan Kuijpers heeft mij met zijn enthousiasme en openheid voor zowel theorie als waarnemingen in de plasmafysica van de zon ingewijd.

Mijn officiële promotor was echter Max Kuperus, die school maakte met plasmafysica. Hij was weer promovendus van Kees de Jager. Deze nog altijd wetenschappelijk actieve negentiger heeft destijds de Utrechtse vestiging van SRON, mijn werkgever, opgericht, vanuit zijn interesse in de zon.

Maar tijdens de lunches en theepauzes op sterrenwacht Sonnenborgh in Utrecht gonsde het nog steeds van de verhalen over Minnaert, de promotor van De Jager. Minnaert heeft het spectroscopische onderzoek van de zon in Utrecht grootgemaakt. Het zal u dan ook niet verbazen dat hij een van de bijna 100 promovendi van de spectroscopist Leonard Ornstein was.

Ornstein op zijn beurt was in Leiden gepromoveerd bij Lorentz, een van de grootste Nederlandse natuurkundigen, Nobelprijswinnaar en daarnaast ook maatschappelijk zeer betrokken. Het werk van Lorentz vormt nog steeds een van de pijlers van de Hoge Energie Astrofysica, het vakgebied dat ik hier in Leiden ga doceren.

Via Rijke en Uylenbroek komen we nu uit bij Jan Hendrik van Swinden, in 1766 in Leiden gepromoveerd op de zwaartekracht, en daarna hoogleraar in Franeker en later in Amsterdam. Ook hij toonde naast zijn wetenschappelijk werk een grote maatschappelijke betrokkenheid. Het voert nu te ver om hier op door te gaan, maar hij was onder andere betrokken bij de invoering van het metrieke stelsel.

Via Lulofs, Odé en Serrurier komen we nu uit bij Burchard de Volder. Deze was in Utrecht als filosoof gepromoveerd en werd hoogleraar in dat vak hier in Leiden. Daar hield hij zich niet strikt aan het curriculum en ontwikkelde de Leidse experimentele fysica. Zijn bekendste student was overigens Herman Boerhaave.

De promotor van De Volder, Johannes de Bruyn, was sinds 1652 de eerste aanhanger van de natuurwetenschappelijke filosofie van René Descartes in Utrecht. Verder terug komen we via Berckringer uit op Martinus Schoock, de laatste aanhanger in Groningen van de filosofie van Aristoteles. Hij maakte Descartes uit voor kwakzalver en avonturier.

Deze Schoock was eerder in 1636 een van de eerste hoogleraren aan de net opgerichte universiteit van Utrecht. De eerste

rector van die universiteit en collega van Schoock was overigens Bernardus Schotanus, een Friese sterrenkundige en jurist, bij wie het motto van de Utrechtse Universiteit goed paste: “Sol iustitiae illustra nos” (zonne der gerechtigheid verlicht ons). In Utrecht meent men tegenwoordig die zon wel te kunnen missen. Ik volg daarom ook maar het voorbeeld van Schotanus, die na vijf jaar naar Leiden vertrok.

We gaan nu verder met de leermeester van Schoock. Via Renierius en Van Kerckhoven verlaten we de filosofie en komen uit bij de theologie. Van Kerckhoven was in Genève gepromoveerd bij Théodore de Bèze, beter bekend als Theodorus Beza. Beza was een van de bekendste leiders van de reformatie, en naaste medewerker en opvolger van Calvijn.

Beide reformatoren waren weer leerlingen van Melchior Wolmar, op zijn beurt een leerling van Jacques Lefèvre, een bekende filosoof en theoloog aan de Sorbonne. Hij had gestudeerd bij Georgius Hermonymus. Deze was afkomstig uit Sparta in Griekenland en was sinds 1476 de eerste docent Grieks aan de Sorbonne en onder anderen leermeester van Erasmus.

Via de Sorbonne keren we terug naar de Sorbonnelaan in Utrecht, waar SRON gevestigd is en waar ik nog lange tijd hoop te werken op de dagen dat ik niet in Leiden ben. Ik hoop duidelijk te hebben gemaakt dat wetenschap een lange traditie kent, dat het internationaal bedreven wordt, en dat verschillende vakgebieden elkaar beïnvloeden en stimuleren.

In de zojuist geschetste lijst van leermeesters geraken we via taalkunde, theologie, filosofie, wis- en natuurkunde bij de sterrenkunde. Veel van mijn voorgangers toonden naast gedrevenheid voor hun vak ook een grote maatschappelijke betrokkenheid en brede kijk op wetenschap en maatschappij. Een universiteit zoals de Leidse toont die breedte in al haar aspecten. Ik op mijn beurt hoop mijn studenten en promovendi ook die brede visie mee te geven.

Dankwoord

Met het bovenstaande kom ik aan het slot van deze oratie. Ik wil mijn dank uitspreken aan allen die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van mijn benoeming, in het bijzonder prof. Huub Röttgering en met hem de Leidse collega's die mij op uitermate plezierige wijze welkom hebben geheten.

Ik dank de SRON organisatie en collega's over de jaren heen die mij de ruimte hebben gegeven om röntgendiagnostiek te bedrijven en daarmee ook de gelegenheid gaven de lijn van mijn wetenschappelijke loopbaan te volgen zoals die verlopen is.

Uiteraard ben ik ook dank verschuldigd aan mijn leermeesters, in het bijzonder wijlen prof. Henk van Bueren die mij de hoge energie astrofysica heeft bijgebracht en mijn interesse in melkwegstelsels en clusters heeft bevorderd.

Het voert nu te ver om individuele namen te noemen, maar ik heb mijn kennis kunnen opscherpen door samenwerking met tientallen collega's, studenten en promovendi in binnen- en buitenland. De steun van vrienden en familie was ook onontbeerlijk.

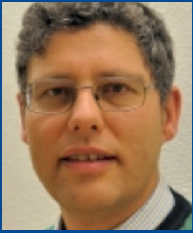
Ik ben mijn ouders bijzonder erkentelijk voor de ruimte die ze mij gaven om zo'n niet alledaagse studie te volgen. Tenslotte dank ik mijn gezin dat heeft moeten leven met de vele buitenlandse dienstreizen, en in het bijzonder voor de steun van mijn echtgenote Christine, die met haar Hollandse nuchterheid mij en ons weer met beide benen op de grond zet.

Ik heb gezegd.

Noten

- 1 Toegeschreven aan Francis Bacon, in oorspronkelijke vorm
Spreuken 24:5
- 2 Oud Nederlands spreekwoord
- 3 <http://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/index.php>

PROF.DR. JELLE S. KAASTRA



1975-1981 studie sterrenkunde aan de Rijksuniversiteit Utrecht
1981-1985 promotie sterrenkunde aan de Rijksuniversiteit Utrecht
1985-1988 postdoc, SRON ruimteonderzoek Leiden
1988-1994 project scientist, SRON Leiden
1994-2003 project scientist, SRON Utrecht
2003-heden senior scientist, SRON Utrecht
2014-heden hoogleraar hoge energie astrofysica, Universiteit Leiden

Jelle Kaastra is opgeleid als sterrenkundige aan de Rijksuniversiteit Utrecht. Na zijn promotieonderzoek over zonnevlammen kwam hij in dienst bij het laboratorium voor ruimteonderzoek van SRON in Leiden, en is sinds die tijd bij SRON in dienst.

Hij is werkzaam op het gebied van de röntgenspectroscopie. In de loop van de jaren heeft hij gewerkt met gegevens van diverse satellieten en was hij betrokken bij voorstellen voor een reeks van satellieten. Daarbij zijn alle aspecten van eerste ideeën, simulaties, modellering, ijking, analyse en wetenschappelijke publicatie aan bod gekomen.

Op dit moment is hij Principal Investigator van de RGS spectrometer van ESA's XMM-Newton satelliet en Principal Investigator van de LETGS spectrometer op NASA's Chandra satelliet. Daarnaast is hij lid van de Science Advisory Board van ASTRO-H, de Japanse satelliet die in 2015 gelanceerd zal worden.

Hij is veelvuldig lid van diverse nationale en internationale commissies. Zijn wetenschappelijke belangstelling gaat vooral uit naar actieve melkwegstelsels en clusters van melkwegstelsels. Hij heeft bijgedragen aan honderden publicaties met mede-auteurs in binnen- en buitenland.



Universiteit
Leiden