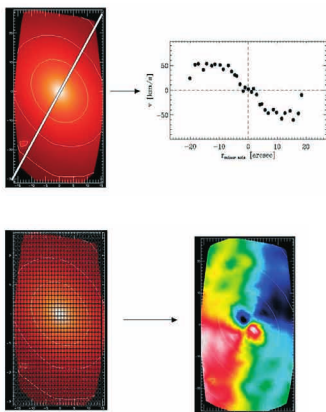


SAURON ziet alles...

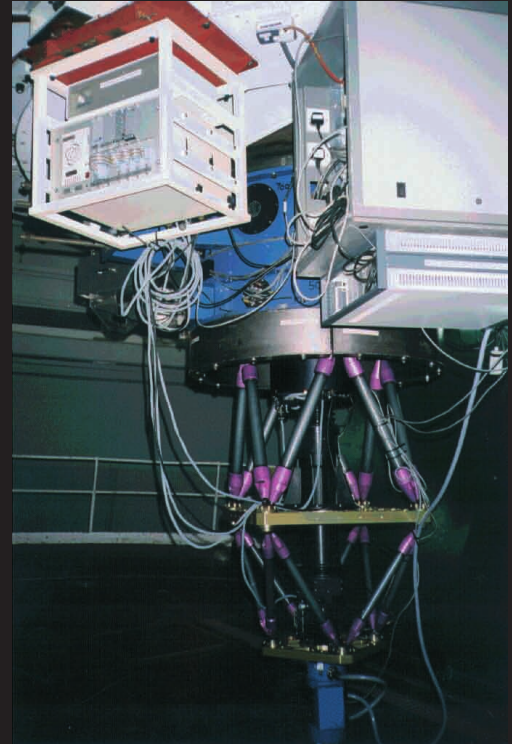
Sterrenstelsels komen in vele varianten aan de hemel voor. Sommige hebben ingewikkelde patronen van spiraalarmen, gas en stof, terwijl andere er juist relatief eenvoudig en structuurloos uit zien. Hoe zijn deze sterrenstelsels gevormd? Zijn structuurloze sterrenstelsels wel echt zo simpel? En waarom zien we zo veel verschillende soorten? Om dit soort vragen te beantwoorden moeten we niet alleen de bewegingen (ofwel kinematica) van sterren en gas, maar ook de chemische samenstelling binnen een sterrenstelsel in kaart brengen. Dit kan op een efficiënte manier met een integral-field spectrograaf of IFS.

SAURON

Een van de bekendste integral-field spectrografen heet SAURON: Spectrographic Areal Unit for Research on Optical Nebulae (Figuren 1 en 2), genoemd naar het oog dat alles ziet in de boeken van Tolkien. Hoewel SAURON oorspronkelijk bedoeld was om de structuur en evolutie van nabije sterrenstelsels te ontrafelen, is deze IFS ook ingezet voor de zoektocht naar donkere materie en zelfs voor het bestuderen van sterrenstelsels in de maak in het vroege heelal. We bespreken hier de belangrijkste resultaten.



Figuur 1. Boven: een voorbeeld van traditionele long-slit spectrografie, waarmee de rotatie snelheid langs de lange as van een sterrenstelsel (NGC 4365) wordt bepaald. Onder: integral-field spectrografie van datzelfde stelsel. In plaats van een snelheidscurve, is hier een snelheidsveld te zien. Rood betekent dat de sterren gemiddeld van ons af bewegen, blauw juist naar ons toe. De witte contouren volgen de lichtverdeling van het stelsel.



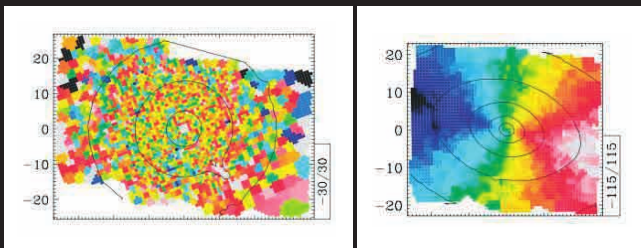
Figuur 2. SAURON, gemonteerd onder het focus van de 4.2m William Herschel Telescope op de sterrenwacht van La Palma (Canarische Eilanden). (Foto: R. McDermid)

Structuur en evolutie van sterrenstelsels

SAURON is speciaal gebouwd om de kernen van elliptische en lensvormige sterrenstelsels te bestuderen. Dit zijn sterrenstelsels die in tegenstelling tot spiraalstelsels een gladde structuur hebben zonder spiraalarmen, voornamelijk uit oude sterren bestaan en weinig of geen gas en stof bevatten. Lensvormige stelsels bevatten vaak een afgeplatte schijf van sterren, elliptische stelsels niet. Het SAURON project, een samenwerking van de universiteiten van Lyon, Oxford en Leiden, is een studie naar een representatief monster van 48 elliptische en lensvormige stelsels. Met dit monster kunnen sterrenkundigen vragen beantwoorden over het ontstaan en de evolutie van sterrenstelsels.

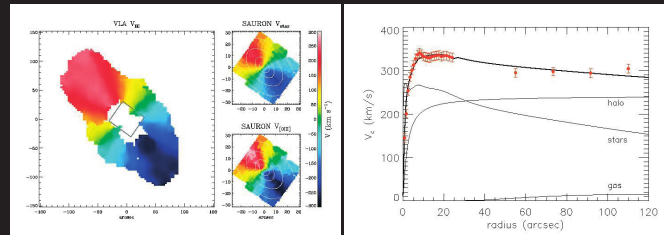
De SAURON survey heeft enkele verrassende resultaten opgeleverd. Zo bleek dat elliptische en lensvormige stelsels helemaal niet zo gas-arm zijn als eerst werd gedacht. Maar liefst driekwart van de stelsels bevat geïoniseerd gas. Zelfs in de Virgo cluster, waar je zou verwachten dat sterrenstelsels

hun gas snel kwijtraken door interactie met andere stelsels binnen de cluster, had 55% nog geïoniseerd gas. Stelsels kunnen ook neutraal gas bevatten. Spiraalstelsels zijn vaak omgeven door gasschijven van neutraal waterstofgas die vele malen groter zijn dan hun sterschijven, maar elliptische stelsels ontberen zo'n gasschijf vaak. Met de recent vernieuwde radiotelescoop in Westerbork zijn nu ook die stelsels van de SAURON survey bekeken. Hiermee zijn rond sommige van de stelsels gasschijven ontdekt die vergelijkbaar zijn met die rond spiraalstelsels (zie Figuur 3). De gasdichtheid is natuurlijk aanzienlijk lager, waardoor deze structuren nu pas met de gevoeligere apparatuur ontdekt konden worden. Vooral voor studies naar donkere materie zijn deze gasschijven van groot belang.



Figuur 3. Links: de snelheidsvelden van sterren en geïoniseerd gas in het centrum van elliptisch stelsel NGC 2974. Links daarvan het snelheidsveld van het neutrale gas. Gas en sterren hebben dezelfde kinematica, wat gebruikt kan worden om de donkere halo rond dit stelsel in kaart te brengen. Rechts: de waargenomen snelheden als functie van straal (rode cirkels), met daarbij de snelheden die je verwacht op grond van de waargenomen massa van sterren en gas.

Verder kwam aan het licht dat als we kijken naar de snelheidsvelden van de stelsels, we twee klassen kunnen onderscheiden (zie Figuur 4). De meeste stelsels vertonen regelmatige rotatie rond een rotatie-as, die samenvalt met de korte as van het stelsel. We vinden zowel elliptische als lensvormige stelsels in deze klasse, die we *fast rotators* noemen. Maar enkele stelsels, voornamelijk de wat grotere elliptische stelsels, hebben juist geen regelmatige rotatie. Deze stelsels zijn de *slow rotators*. Het lijkt erop dat deze stelsels een andere evolutie hebben doorlopen. Om dit verder te onderzoeken is een nieuw project gestart: het Atlas3D project. Dit is een survey van een compleet monster van 265 elliptische en lensvormige stelsels, ook met de SAURON IFS. De waarnemingen zijn inmiddels binnen, en komend jaar zullen de eerste resultaten van deze survey bekend gemaakt worden.



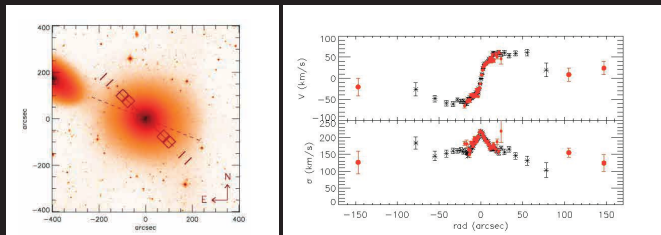
Figuur 4. De snelheidsvelden van een *slow rotator* (links) en een *fast rotator* (rechts). De getallen rechtsonder geven de schaal van de snelheden aan in km/s (van rood/wit naar blauw/zwart). Let op het verschil in amplitude: voor de *slow rotator* is dit maximaal 30 km/s, terwijl de *fast rotator* een rotatiesnelheid van 115 km/s heeft.

Donkere materie

SAURON heeft een relatief klein gezichtsveld van 30 bij 40 boogseconden. Ter vergelijking: de volle maan heeft een diameter van 30 boogminuten (1 boogminuut = 60 boogseconden). Dit gezichtsveld is genoeg om de helft van het sterlicht van een sterrenstelsel in kaart te brengen, ofwel de sterren binnen een effectieve straal. Maar sterrenstelsels bestaan voornamelijk uit massa die je niet kunt zien: donkere materie. Donkere materie is alleen waar te nemen door zijn gravitationele invloed op omliggend gas en sterren. Het is massa van niet-baryonische oorsprong, waarvan we nog steeds niet weten wat het precies is, maar wel dat het een grote rol heeft gespeeld in de structuurvorming van het heelal. Onder invloed van zwaartekracht klonterde in het vroege heelal de donkere materie samen. In de structuren die zo ontstonden stroomde gas dat vervolgens afkoelde en sterrenstelsels vormde. Ieder sterrenstelsel zou zich daarom in een grote halo van donkere materie moeten bevinden. In de centra van sterrenstelsels domineert de lichtgevende materie (sterren en gas), en pas op grotere afstand (voorbij ~3-5 effectieve stralen) neemt de halo het over.

Een donkere halo is redelijk eenvoudig aan te tonen als een sterrenstelsel omringd is door een gasschijf (zie Figuur 3), maar als zo'n schijf ontbreekt wordt het lastig. We kunnen in plaats van gas ook naar de kinematica van de sterren kijken, maar sterrenstelsels zijn op grote afstand van het centrum erg lichtzwak. Om toch voldoende licht op te vangen om een spectrum en daarmee de kinematica te kunnen bepalen, schakelen we SAURON in. Op 3 effectieve stralen van het centrum is het signaal dat 1 lensje opvangt weliswaar te zwak om

een goed spectrum te krijgen, maar als we het signaal van de 1400 lensjes combineren kunnen we toch de kinematica van de sterren bepalen (zie Figuur 5). Hiermee kunnen we dan de eigenschappen van de donkere halo rond stelsels bepalen, ook als ze geen gasschijf hebben. Bovendien geeft het spectrum aanwijzingen over de sterpopulatie in de halo: die is oud (~12 miljard jaar) en bevat weinig zware elementen.



Figuur 5. Links: elliptisch stelsel NGC 3379. De SAURON velden zijn aangegeven met rode rechthoeken, en de strepen parallel aan het gezichtsveld geven positie van 146 aparte lensjes aan die de achtergrond meten. Rechts: de rotatiesnelheid (boven) en snelheidsdispersie (onder) in NGC 3379. De long-slit data is in het zwart aangegeven, de SAURON data juist in het rood. Met onze waarnemingen op grote straal hebben we het bereik van de kinematische data verdubbeld (Weijmans et al. in prep).

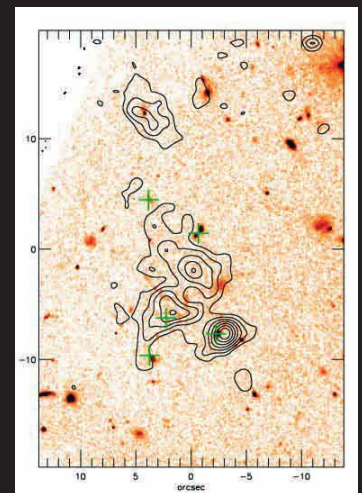
Gaswolken op hoge roodverschuiving

De sterrenstelsels uit de SAURON en Atlas3D survey bevinden zich in het nabije heelal, op een afstand van hoogstens 60 miljoen lichtjaar. Het licht van deze stelsels is door de uitdijning van het heelal enigszins naar het rood verschoven, maar niet al te veel. Met een golflengte gebied van 480 tot 530 nm is SAURON dan ook zeer geschikt om dit type stelsels waar te nemen, omdat belangrijke absorptie- en emissielijnen van waterstof, zuurstof, magnesium en ijzer in dit interval liggen. Voor sterrenstelsels op grotere afstand bewegen sneller van ons af en hebben dus een grotere roodverschuiving in het spectrum. Roodverschuiving wordt aangegeven met $z = \lambda_{\text{observed}} - \lambda_{\text{emitted}} / \lambda_{\text{emitted}}$. Daarom vallen deze lijnen buiten het bereik van SAURON en zijn andere IFS geschikter om ze waar te nemen.

Hier zijn echter uitzonderingen op. Op 126 nm zendt het waterstofatoom een emissielijn uit: de Lyman α lijn. Een gaswolk op een roodverschuiving van 3.1 (ofwel op een afstand van 11 miljard lichtjaar) is dan weer wel met SAURON waarneembaar. We kijken dan een behoorlijk eind terug in het verleden, naar de tijd waarin sterrenstelsels zich beginnen te vormen.

SAURON heeft zijn oog gericht op Lyman α Blob 1 (LAB1), een wolk van geïoniseerd gas en ontdekte dat deze gaswolk uit vier aparte wolkjes of 'blobjes' bestaat (zie Figuur 6). Elk van die blobjes zou kunnen uitgroeien tot een hedendaags sterrenstelsel. Interessant is dat hier niet helemaal duidelijk is waar de energie vandaan komt die het gas in de blobjes ioniseert. Voor één van de blobjes is een bron gevonden die optische en UV straling uitzendt en zo het gas kan ioniseren. Een ander blobje wordt geassocieerd met een bron die submillimeter straling uitzendt. Maar voor de overige blobjes is de bron niet duidelijk en kunnen we te maken hebben met zogenaamde cooling flows of een door stof verborgen stralingsbron.

Figuur 6. Lyman α Blob 1. Op de achtergrond een optische opname van de Hubble Space Telescope. De groene kruizen geven de posities van submillimeter bronnen aan. Zo zendt het blobje rechtsonder (3, -8) zowel optische als submillimeter straling uit, maar het blobje daar linksboven (0, -2) is in beide golflengtes niet gedetecteerd.



De toekomst van IFS

SAURON kan dus veelzijdig voor sterrenkundig onderzoek worden ingezet, ook voor onderzoek waar tijdens de constructie nog niet aan gedacht was. Behalve SAURON zijn er nog vele andere IFS in gebruik en in de ontwerpfase voor de nieuwe generatie van telescopen. Wie weet wat voor ontdekkingen nog zullen volgen!

Voor meer informatie:

<http://www.strw.leidenuniv.nl/sauron>

(over het SAURON project)

<http://www-astro.physics.ox.ac.uk/atlas3d>

(over het Atlas3D project)

<http://www.ing.iac.es>

(over de sterrenwacht op La Palma)

En voor een filmpje van de Lyman α blob:

<http://www.strw.leidenuniv.nl/~weijmans/blob>