

Het visueel waarnemen van sterrenstelsels uit de 'Atlas of Peculiar Galaxies', van Halton Arp¹.

(door Jan van Gastel)

Er bestaan veel lijsten met waar te nemen diepskyobjecten. De bekendst is wel de uit 110 objecten bestaande lijst van kometenjager Messier, op de voet gevolgd door de 'Herschel 400', een selectie van door Herschel ontdekte diepskyobjecten. Ook sterrenwachten stellen soms lijsten samen, evenals mailinglists of astrofora. Zo kent het Nederlandse Astroforum bijvoorbeeld sinds enige tijd de 'Astroforum Bright Objects Catalog' (BOC) bestaande uit heldere objecten die niet in de lijst van Messier voorkomen. Zo goed als alle bestaande waarneemlijsten zijn als publieke waarneemlijst opgenomen in het Belgische Diepskylog of kunnen daarbinnen eenvoudig worden samengesteld.

Een lijst die met een heel ander doel is samengesteld, is de voor het eerst in 1966 gepubliceerde, uit 338 sterrenstelsels en groepen van sterrenstelsels bestaande 'Atlas of peculiar galaxies', van Halton Arp. Halton Arp geldt als 'dissident' in kringen van astronomen, omdat hij de big bang theorie verwerpt. De roodverschuiving van snel van ons verwijderende sterrenstelsels heeft volgens Arp niets te maken met, waarvan andere astronomen overtuigd zijn, de snelheid van verwijdering of de afstand van de stelsels tot ons, maar met de leeftijd van de betreffende stelsels. Arp was meer geïnteresseerd in datgene wat afweek van wat volgens de gangbare astronomische opvattingen wetenschappelijk is aangetoond, dan in datgene wat dit bevestigde. Dat leidde er onder meer toe, dat hij op zoek ging naar afwijkende sterrenstelsels, die hij beschrijft in zijn 'Atlas of peculiar galaxies'.

Juist het feit dat het om een verzameling gaat van 'peculiar galaxies', sterrenstelsels waar iets mee aan de hand is, maakt deze lijst interessant. Het is erg leuk om vervormde sterrenstelsels, zwakke, van het stelsel afgebogen spiraalarmen, heldere of zwakke compagnons op een spiraalarm of duidelijk inter-acterende stelsels visueel waar te kunnen nemen. Arp onderscheidt negenendertig verschillende typen objecten, gebaseerd op de soort 'afwijking' die de verschillende objecten hebben. In tabel 2 wordt een aantal voorbeelden van typen gegeven².

Moeilijk waar te nemen?

De vraag of de sterrenstelsels of groepen sterrenstelsels uit de Arp atlas moeilijk zijn waar te nemen, valt bij nadere beschouwing uiteen in twee vragen:

1. Zijn de stelsels op zich moeilijk waar te nemen?
2. Is het Arp kenmerk, de reden waarom Arp een stelsel in zijn catalogus heeft opgenomen, moeilijk waar te nemen?

Vaak zal het antwoord op beide vragen bevestigend zijn, maar in heel wat gevallen, mede afhankelijk van de donkerte van de waarneemplek en de ervaring van de waarnemer, is dat niet zo en is het stelsel –en soms zelfs het Arpkenmerk- al met een kleine telescoop of, onder goede omstandigheden, met een verrekijker al waar te nemen. De bij alle waarnemers bekende lijst van Messier bestaat bijvoorbeeld voor 10% uit stelsels die ook in de catalogus van Halton Arp voorkomen, zoals in tabel 1 is te zien.

¹ Met dank aan Arie Otte voor zijn commentaar op eerdere versies van dit artikel.

² Zie voor een overzicht van alle typen, lit. 1.

Heel wat Arp's echter, zijn moeilijker waar te nemen, waardoor je een telescoop nodig hebt met een objectiefdiameter van 30-50 cm of nog meer plus een echt donkere hemel. Dat laatste om het contrast optimaal te laten zijn.

Arp	Messier	Arp	Messier
16	66	134	49
26	101	152	87
37	77	168	32
76	90	317	65
85	51	337	82
116	60		

Tabel 1: Arpstelsels in de Messierlijst

Om na te gaan waarom veel objecten uit Arp's catalogus een vrij grote telescoop vereisen om te kunnen worden waargenomen, vergelijken we ze met de sterrenstelsels uit de catalogus van Messier, op de volgende voor de zichtbaarheid relevante variabelen: het *contrast* met de achtergrond, de *magnitude* (totale hoeveelheid licht die het object in onze richting uitstraalt) en de *afmetingen* van het object³. En hiermee beantwoorden we dan tegelijk de vraag naar de zichtbaarheid van de Arpkenmerken.

Het contrast met de hemelachtergrond

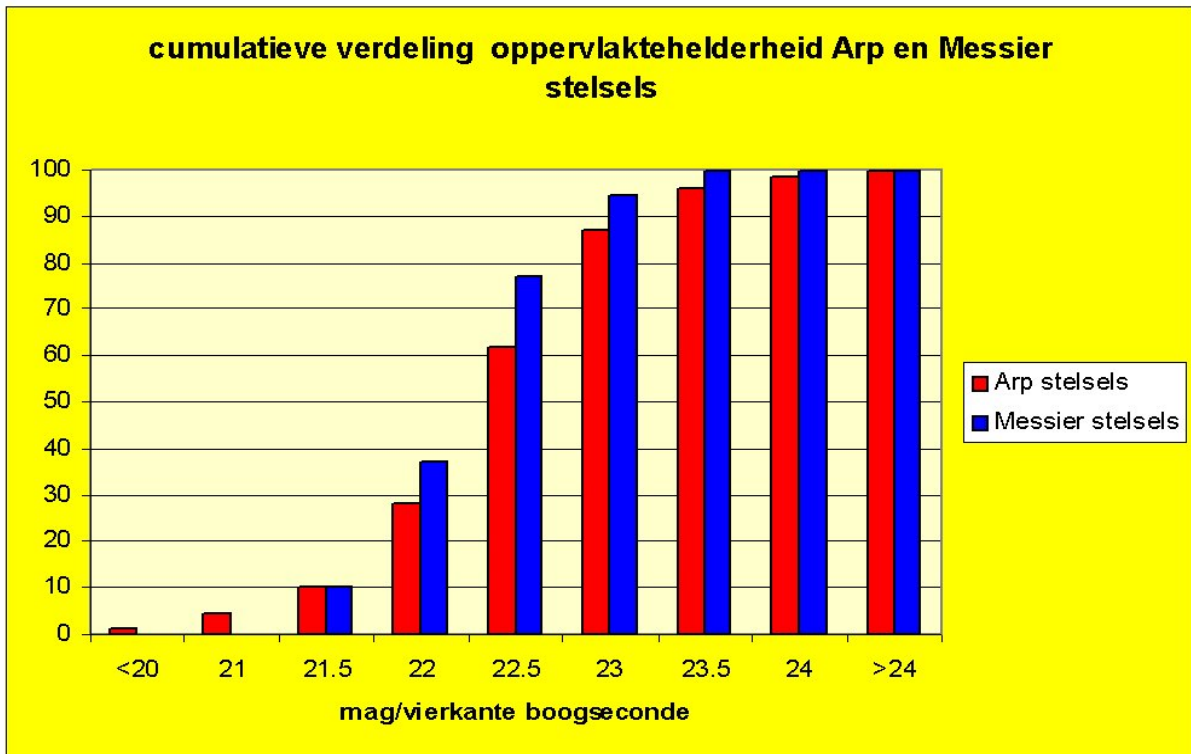
Hoe groter het contrast met de hemelachtergrond, hoe gemakkelijker een object zichtbaar is. Omdat de achtergrondhelderheid per waarneemplaats nogal kan verschillen, nemen we hier als indicator voor het contrast de *oppervlaktehelderheid* van de objecten (zie voor berekening het kader op pagina 9).

Onder een zelfde hemel zal een object met lage oppervlaktehelderheid namelijk altijd een lager contrast hebben dan een object met hoge oppervlaktehelderheid.

In figuur 1 (volgende pagina) zijn de cumulatieve gegevens samengevat van de oppervlaktehelderheid van Messier- en Arpstelsels. Te zien is, dat er weliswaar enig verschil is, maar niet zoveel als we wellicht zouden verwachten. Bij een oppervlaktehelderheid van 23.5 magnituden per boogseconde² hebben we 100% van de Messierstelsels te pakken, maar ook al 96% van de stelsels uit de atlas van Arp. Slechts 9% (30 objecten) van alle Arps heeft een lagere oppervlaktehelderheid dan M101, het qua oppervlaktehelderheid zwakste Messierstelsel (23.2 magnituden /boogseconde²).

Conclusie: het contrast met de achtergrond is geen verklaring voor de minder goede zichtbaarheid van de Arpstelsels in vergelijking tot Messierstelsels.

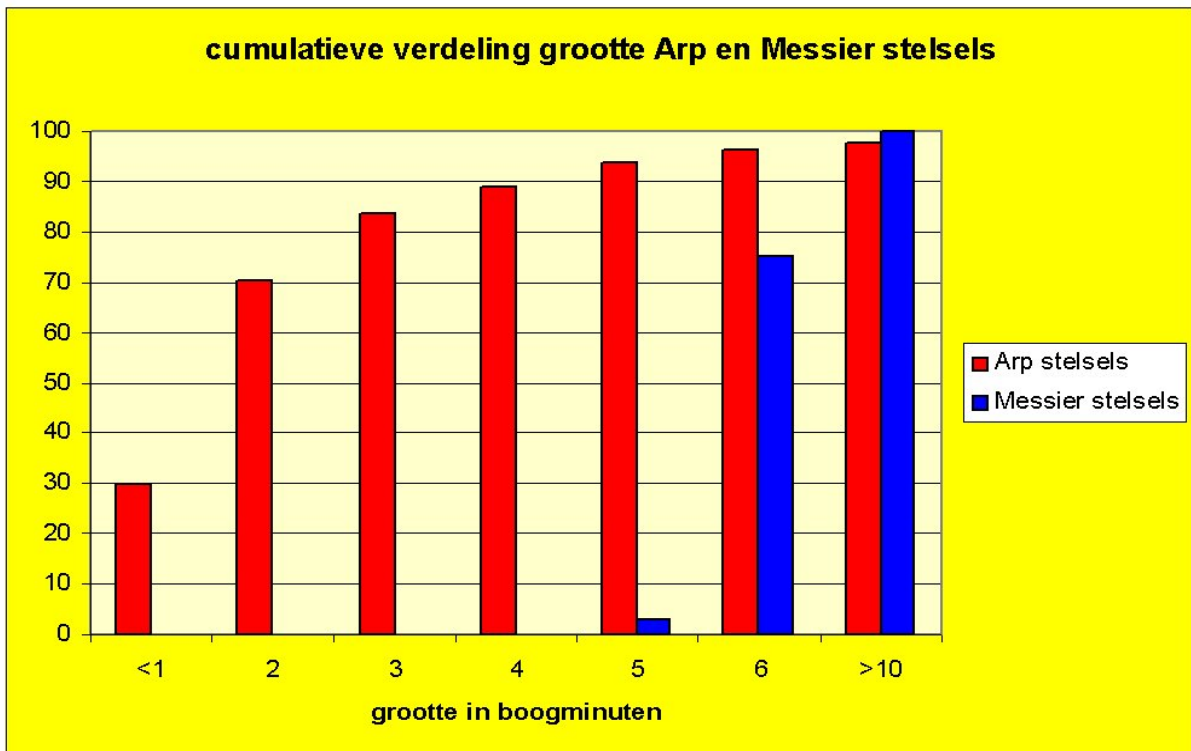
³ Zie voor de theoretische achtergronden het artikel van de auteur "Visueel waarnemen: de zichtbaarheid van uitgebreide diepskyobjecten", Zenit, december 2007, p. 568 e.v. en Heelal, januari 2008, p. 12 e.v., of de website van de auteur.



Figuur 1: De oppervlaktehelderheid van de Arp- en Messierstelsels

De hoekgrootte van het object

In figuur 2 is de cumulatieve verdeling van de hoekgrootte van de objecten weergegeven. Hier hebben we een duidelijk verschil te pakken tussen de stelsels van beide catalogi. Bij een afmeting (lange as) van de objecten van 5 boogminuten of minder hebben we al 94% van de Arpstelsels te pakken en nog maar 3% van de Messiers.

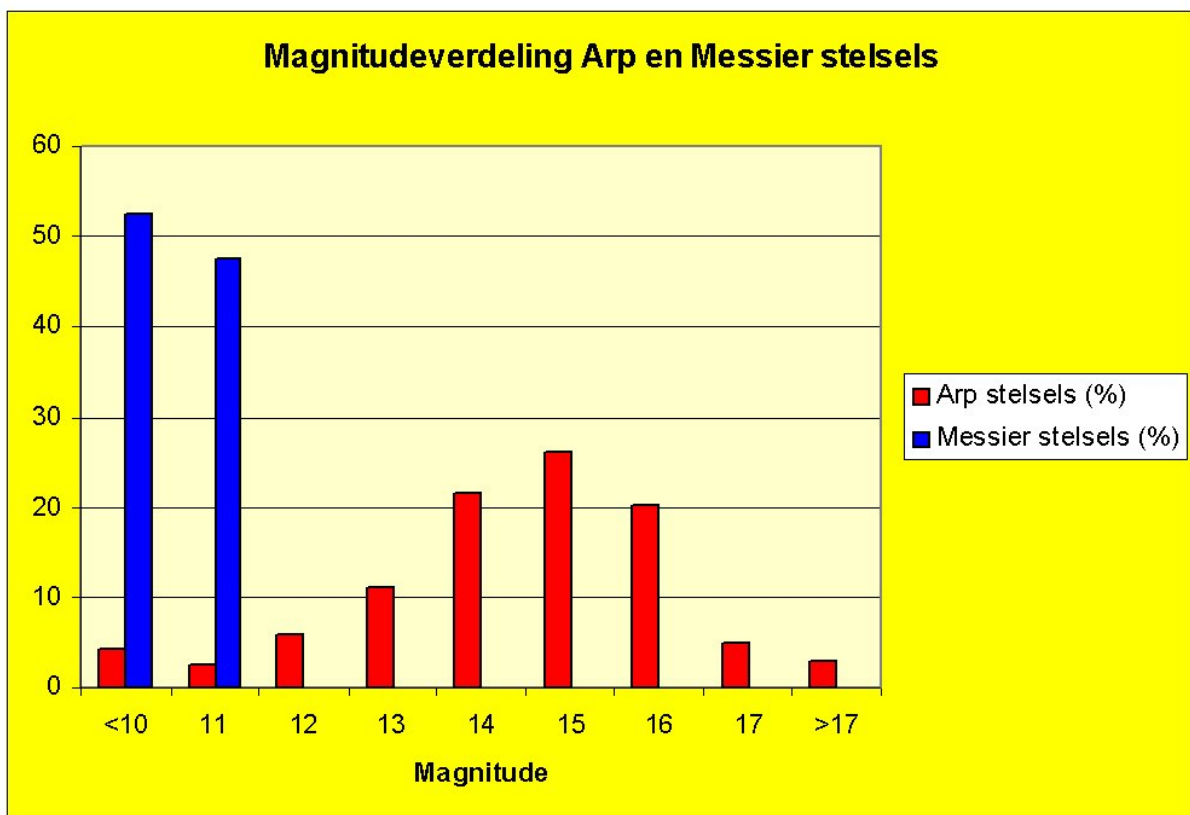


Figuur 2: De hoekgrootte van de Arp- en Messierstelsels

Maar liefst 75% van de Messierstelsels is tussen de 5 en 10 boogminuten groot. En 22% is groter dan 10 boogminuten. 30% van de Arpstelsels is zelfs kleiner dan 1 boogminuut. De oorzaak van de kleinere hoekgrootte van de Arpstelsels in vergelijking met de Messierstelsels is dat ze, enkele tientallen uitzonderingen daargelaten (veel) verder van ons zijn verwijderd dan de Messierstelsels. Tussen ons en de Messierstelsels ligt tussen de 2.6 en 70 miljoen lichtjaar, de afstand tussen ons en de Arpstelsels, als we de overlap met Messier en nog een handvol andere helderstelsels weglaten, bedraagt tussen de 140 miljoen en 1.5 miljard lichtjaar.

De magnitude

In tabel 4 is de magnitudeverdeling van beide groepen sterrenstelsels samengevat. Duidelijk is, dat de Messiercatalogus geen stelsels bevat die zwakker zijn dan magnitude 11 en dat bijna 93% van de Arpstelsels zwakker is dan magnitude 11. Bijna 30% is zelfs lichtzwakker dan magnitude 15. In figuur 3 is de magnitudeverdeling van Arp- en Messierstelsels samengevat.



Figuur 3: Magnitudeverdeling van Arp- en Messierstelsels

Samenvattend kunnen we dus stellen Arpstelsels en Messierstelsels:

- *weinig* van elkaar verschillen qua contrast met de achtergrond.
- *veel* verschillen qua *magnitude* en *schijnbare afmetingen*.

Dat er qua oppervlaktehelderheid (en dus onder gelijke omstandigheden, qua contrast) weinig verschil is tussen Messier- en Arpstelsels komt omdat, enkele uitzonderingen daargelaten, Messierstelsels *grote* stelsels zijn met een *lage* magnitude en Arpstelsels *kleine* stelsels met een *hoge* magnitude (zie ook het kader op p. 9).

Waarom zijn die kleine Arps nu moeilijker te zien dan de grotere Messierstelsels? Bij het waarnemen van deepskyobjecten met een laag contrast met de achtergrond, is het volgende belangrijk:

1. Het oog ziet objecten met een laag contrast met de achtergrond *beter* op een *lichte* achtergrond dan op een donkere.
2. Hoe *lager* de vergroting met een bepaalde telescoop, hoe *groter* de uitreepupil, *dus* hoe *lichter* de achtergrond⁴.
3. Het oog ziet *grote* objecten die een laag contrast hebben met de achtergrond *beter* dan kleine, omdat dan meer lichtgevoelige orgaantjes (staafjes) in het oog door fotonen van het object worden geactiveerd.

Omdat Messierobjecten relatief *groot* zijn (figuur 2) en dus slechts *weinig vergroot* hoeven te worden om ervoor te zorgen dat de door het sterrenstelsel uitgezonden fotonen voldoende lichtgevoelige staafjes in ons oog treffen, blijft ook in kleine telescopen door de relatief grote uitreepupil de achtergrond licht. De kleine Arpstelsels daarentegen, moeten *sterk vergroot* worden, om ervoor te zorgen dat de aanwezige fotonen over voldoende groot gebied worden uitgespreid, teneinde voldoende gevoelige orgaantjes in ons oog te treffen om te kunnen worden opgemerkt. In een telescoop met een klein objectief⁵ wordt de uitreepupil bij een voldoende hoge vergroting erg klein en bijgevolg de achtergrond te donker, om het object nog te kunnen waarnemen.

Zoals al eerder opgemerkt is het echter niet zo, dat voor *alle* Arp's een (zeer) grote telescoop nodig is. In tabel 2 hieronder⁶ zijn 19 sterrenstelsel opgenomen, waarvan het Arpkenmerk

Arp	Andere naam	type	Sterrenbeeld
337	M 82	unique	Uma
318	Hickson 16	Galaxy group	Cet
37	M 77	Spiral: LSB on spiral arm	Cet
77	NGC 1097	Spiral: small HSB comp on arm	For
269	Cocoon	Connected arms	CVn
26	M 101	Spiral: one heavy arm	UMa
85	M 51	Spiral: HSB comp. on arm	CVn
94	NGC 3226 en 3227	Spiral: ell. comp. on arm	Leo
16	M 66	Spiral: detached segments	Leo
270	NGC 3395 en 3396	Connected arms	LMi
317	Leo's triplet	Galaxy group	Leo
76	M90	Spiral: small HSB comp. on arm	Vir
84	NGC 5395 en 5394	Spiral: large HSB comp. on arm	CVn
116	M 60	Ell. Close to and perturbing spirals	Vir
120	NGC 4438 en 4435	Ell. Close to and perturbing spirals	Vir
281	NGC 4631 en 4627	Double with infall and attraction	CVn
244	NGC 4038 en 4039	Appearance of fission	Crv
286	NGC 5566 groep	Double with infall and attraction	Vir
153	NGC 5128	Disturbed with interior absorption	Cen

Tabel 2 : Met een kleine telescoop zichtbare Arpstelsels en Arpkenmerken

⁴ De achtergrondhelderheid in het beeldveld van een telescoop wordt, aangenomen dat geen strooilight het beeldveld kan bereiken, uitsluitend bepaald door de grootte van de uitreepupil. Een twee keer zo grote uitreepupil, geeft een vier maal zo licht beeldveld.

⁵ We gaan er wel van uit dat de magnitude in principe wel door de telescoop gehaald kan worden. Bij een erg klein objectief zal zelfs dat niet eens het geval zijn.

⁶ Uit lit. 1, pagina 107.

onder goede omstandigheden al met een 15-20 centimeter telescoop is waar te nemen. Hierin komen slechts 7 van de 11 bovengenoemde Messierstelsels voor. Dat komt omdat de andere 4 in de atlas van Arp voorkomende Messierstelsels op zich wel met een kleine telescoop te zien zijn, maar het Arpkenmerk, bijvoorbeeld de 'jet' in M 87, niet.

In tabel 3 is het aantal met een bepaalde objectiefdiameter zichtbare Arpstelsels (we bedoelen hier de stelsels op zich en niet de Arpkenmerken) aangegeven voor een achtergrondhelderheid van 21.4 magnituden /boogseconde² (ongeveer grensmagnitude 6.7), voor waarnemers met meer en minder ervaring. Waarnemers met enige ervaring zullen objecten met een contrastreserve van -0.2 nog kunnen waarnemen, zeer ervaren waarnemers kunnen zelfs een contrastreserve halen van -0.4 of nog beter. Uit de tabel wordt duidelijk, dat zelfs met een relatief kleine telescoop, onder een donkere hemel nog heel wat Arpstelsels kunnen worden waargenomen, zeker door een ervaren waarnemer. Men doet er met een kleine telescoop wel goed aan te zoeken naar de qua magnitude wat helderder, relatief grote objecten.

Objectief-diameter	Contrast-reserve -0.2	Contrast-reserve -0.4
100 mm	111	145
200 mm	179	232
300 mm	230	274
400 mm	260	294
500 mm	281	338
> 500 mm	338	338

Tabel 3: Met een bepaalde objectiefdiameter zichtbare Arpstelsels, gegeven een bepaalde donkerte en ervaring

Waarnemen van de Arpkenmerken

Zoals eerder opgemerkt, geldt voor het waarnemen van de Arpkenmerken in wezen hetzelfde als voor het waarnemen van de stelsels op zich, maar dan in versterkte mate. De Arpkenmerken zijn vaak delen van de stelsels die zijn afgestoten of lichtzwakke compagnons die op of vlakbij het hoofdstelsel staan. Ze zijn soms (erg) klein en nog minder helder dan het hoofdstelsel. Om erg kleine kenmerken te kunnen waarnemen moet dus veel, soms extreem veel vergroot worden. Vergrotingen van 300-400 keer zijn regel en vergrotingen van 500-700 keer zijn regelmatig noodzakelijk om een detail zichtbaar te maken. Met een klein objectief

wordt de uitreepupil bij zulke hoge vergrotingen zo klein, dat de achtergrond te donker wordt om dergelijke zwakke en kleine objecten of details nog te kunnen zien.



Tekening (van de auteur): Stephan's Quintet in Pegasus, waargenomen met een 50 cm Newton, in Zuid-Frankrijk

Uit eigen ervaring (ik heb 156 Arpstelsels waargenomen) weet ik, dat sommige Arpkenmerken vrij gemakkelijk, andere zeer moeilijk of niet zijn waar te nemen. Vrij gemakkelijk waar te nemen bijvoorbeeld zijn beide stelsels die Arp 85 (M 51) vormen. Deze Arp is van het type 'spiraalstelsel met een grote, heldere compagnon op een spiraalarm'. Natuurlijk 'staat' deze compagnon niet echt op de spiraalarm, maar lijkt dat zo. De beide stelsels van M 51 zijn al met een kleine telescoop te zien en met een 30 cm telescoop is onder goede omstandigheden vrij gemakkelijk te zien dat de stelsels elkaar 'raken'. Ook het Arpkenmerk van M101, een Arp van het type 'spiraalstelsels met één zware spiraalarm', is al met relatief kleine telescopen waar te nemen. Nog niet waargenomen met mijn 50 cm telescoop heb ik de 'jet' in Arp 152 (M 87), terwijl die bijvoorbeeld door Roger Clark is waargenomen met een 16 inch telescoop (lit. 4). Regelmatig vind ik in mijn aantekeningen terug dat een zwakke compagnon of een zeer zwakke spiraalarm niet te zien was. Daar staat tegenover dat het heel bevredigend is als het wel lukt om zo'n zwakke compagnon, een

'ketting' van zeer lichtzwakke sterrenstelsels of een specifieke vorm van een stelsel, waar te nemen. Een voorbeeld van dat laatste is bijvoorbeeld Arp 32 (UGC 10770), naar zijn vorm door Arp een *'integral sign'* galaxy genoemd. Bij rechtstreeks kijken met mijn 50 cm telescoop, lijkt dit gewoon een recht 'edge-on' sterrenstelsel, maar bij perifeer kijken is soms even de gebogen vorm te zien, die het type verraad.

Erg leuk vind ik de *'kettingen van sterrenstelsels'* uit de catalogus van Arp. Een mooi voorbeeld daarvan is Arp 330, een 'ketting' van vijf kleine, zwakke sterrenstelsels, variërend van (visuele) magnitude 14.8 tot 15.6. Perifeer waarnemen en vergrotingen van 300-545x waren hier noodzakelijk om alle vijf objecten te zien te krijgen. Heel bekend tenslotte, is Arp 319, beter bekend onder de naam Stephan's Quintet (zie tekening vorige pagina), in het sterrenbeeld Pegasus. Hierin zijn onder goede omstandigheden (waaronder goede seeing) met een 30 cm telescoop, met wat meer inspanning zelfs met een 20 cm telescoop alle vijf de stelsels waar te nemen. Een aardig neveneffect van het waarnemen van objecten uit de Arp atlas vind ik ook, dat je anders, meer en detail, naar sterrenstelsels gaat kijken en daarom ook in andere stelsels gemakkelijker details gaat waarnemen.

Voorbereiding en waarneemtechnieken

Een goede voorbereiding is voor het waarnemen van Arpstelsels en zeker voor de Arpkenmerken van zeer groot belang. Daarbij hoort in de eerste plaats een optimale aanpassing aan het donker en het behouden daarvan tijdens de waarneemperiode. Met niet of slecht aan het donker aangepaste ogen zullen zwakke stelsels en zwakke kenmerken beslist onopgemerkt blijven. Denk eraan dat het oog zich achter het oculair, zeker bij hoge vergroting als het beeldveld veel donkerder is dan wanneer men met het blote oog naar de nachthemel kijkt⁷, verder aan het donker zal aanpassen en dat hiermee enige tijd gemoeid is. Bij een echt donkere hemel moet je al gauw anderhalve tot tweeënhalve minuut rekenen voor je oog zich goed aan het donkere beeldveld heeft aangepast, bij een lichte mate van lichtverontreiniging duurt dat al gauw een minuut of drie, vier⁸. Net zo belangrijk is het om van tevoren na te gaan welke kenmerken te zien zouden moeten zijn. Het is bijvoorbeeld nogal een verschil of je naar een kleine, lichtzwakke compagnon op een spiraalarm op zoek moet gaan, naar een zwakke, van het stelsel afbuigende spiraalarm, naar een afwijkende vorm van een edge-on stelsel of naar een rijtje van zwakke sterrenstelsels. Goede zoekkaarten, waarop de Arpkenmerken duidelijk gelokaliseerd zijn, afgezien wellicht van wat heldere uitzonderingen, noodzakelijk om tot succesvolle waarnemingen te kunnen komen. En vergeet niet slechts kort, zwak rood licht te gebruiken om op een zoekkaartje te kijken, anders gaat je nachtzicht weer naar de knoppen en kost de heropbouw daarvan je weer de nodige tijd.

Wat de waarneemtechnieken betreft: perifeer waarnemen is in veel gevallen absolute noodzaak. Pas daarbij op voor de blinde vlek en voor het Troxler effect. Dit laatste is het verschijnsel, dat een object aan de periferie van je beeldveld onzichtbaar wordt (of blijft) als je een bepaald punt in je beeldveld fixeert. Kijk dus wat rond in je beeldveld. Ook het spelen met verschillende vergrotingen kan het object zichtbaar maken, evenals het draperen van een

⁷ Kijkt me bijvoorbeeld onder hemel met een met SQM gemeten donkerte van 22.0 magnituden /boogseconde² met een uitreepupil van 0.5 millimeter, dan wordt de donkerte van het beeldveld door uitsmering van het licht over een groter oppervlak, ruim 28 magnituden /boogseconde². Dit komt overeen met een verschil in grensmagnitude van bijna 1.5 magnitude. Onder een minder donkere hemel is dit verschil in grensmagnitude bij gelijke verdonkering van de achtergrond, nog groter.

⁸ Zie voor de theoretische achtergronden het artikel van de auteur "Visueel waarnemen: Het oog en het Brein", Zenit februari 2009, p. 84 (deel 1), Zenit maart 2009, p. 137 (deel 2), Heelal, augustus 2008, p. 252 e.v., of de website van de auteur.

donkere doek over je hoofd om licht dat niet uit het oculair komt uit je oog te houden. Soms maakt het lichtjes bewegen van de telescoop een object dat niet zichtbaar was, even zichtbaar.

De telescoop

Tot slot een opmerking over de gebruikte telescoop. Zorg voor een goede ‘baffeling’ van de telescoop. Alleen licht dat vanaf de hoofdspiegel komt mag het beeldveld bereiken. Dat betekent dat je, als je zonder oculair in het donker in je oculairhouder kijkt, je alleen ‘pikzwart’ mag zien, op je hoofdspiegel na. Licht dat vanaf de onderkant van de telescoop, vanuit de richting tegenover je oculair of via weerkaatsing door de buiswand of trussbuizen je oculair bereikt, maakt je beeldveld minder donker, verlaagt het contrast en zal objecten minder goed zichtbaar maken. En daarbij gaat het zeker niet alleen om kunstlicht, want bij hoge vergroting is zelfs het achtergrond licht van de donkerste waarneemplek nog helderder dan het licht dat zoals het bedoeld is via de hoofdspiegel je beeldveld bereikt.

Concluderend kunnen we dus stellen dat het om succesvol de ‘peculiar galaxies’ uit de atlas van Halton Arp, met name de ‘peculiarities’ zelf, te kunnen waarnemen, alles in orde moet zijn: de voorbereiding, de donkeraanpassing, het beheersen van de juiste waarneemtechnieken en de telescoop. En ook al is het een flink eind rijden en niet over de gemakkelijkste wegen: het loont vooral zeer de moeite om een echt donkere plek op te zoeken, want dat is de enige manier om het contrast van deze objecten met de achtergrond zo groot mogelijk te maken.

Het berekenen van de oppervlaktehelderheid van een object.

De oppervlaktehelderheid van een deepskyobject berekenen we uit de *magnitude* en de *afmetingen* van een object met de formule: $O = M + 2.5 * \log(La * Ka * \pi * 3600 / 4)$. *M* is de magnitude, *La* en *Ka* zijn respectievelijk de afmetingen van de lange en korte as van het sterrenstelsel in boogminuten. De uitkomst die we dan krijgen is in magnituden/boogseconde². Willen we de uitkomst in magnituden/boogminuut², dan laten we ‘3600’ weg uit de formule, of trekken van de uitkomst 8.9 af.

Twee voorbeelden:

1. Een *helder, groot* object van magnitude 10 en met afmetingen (*La* en *Ka*) van respectievelijk 8 en 6 boogminuten: $O = 10 + 2.5 * \log(8 * 6 * \pi * 3600 / 4) = 22.83$
2. Een *zwak, klein* object van magnitude 15 met afmetingen van 0.8 bij 0.6 boogminuten: $O = 15 + 2.5 * \log(0.8 * 0.6 * \pi * 3600 / 4) = 22.83$

We zien dat het resultaat, de oppervlaktehelderheid van beide objecten hetzelfde is. Daarom is bij een gelijke donkerte van de achtergrond ook het contrast van beide objecten met de achtergrond hetzelfde.

Zichtbaarheid van beide objecten

Het object van magnitude 10 is onder goede omstandigheden (SQM waarde 21.5) te zien met een objectiefdiameter van 75 mm bij een vergroting van optimaal ongeveer 20 x. Voor het object van magnitude 15 is onder dezelfde omstandigheden een telescoop nodig met een objectief van minimaal 508 mm en een vergroting van ongeveer 170 x (beide gesimuleerd met het programma ‘Optimum Detection Magnification’ (ODM) van Mel Bartels).

Literatuur

1. Jeff Kanipe and Dennis Webb (2006), The Arp Atlas of Peculiar galaxies. A Chronicle and Observer's Guide, Willmann-Bell inc., Richmond.
2. Alvin H. Huey (2007), Observing the Arp Peculiar galaxies. Te bestellen bij de auteur, te bereiken via <http://www.faintfuzzies.com>
3. Bob Hill: Touring the peculiar universe, <http://www.astronomy-mall.com/Adventures.In.Deep.Space/peculspr.htm>
4. Roger Clark: Visual observations of the M 87 jet, op <http://astronomy-mall.com/Adventures.In.Deep.Space/m87jet.htm>
5. Halton C. Arp: The official website, op: <http://www.haltonarp.com/>