

University of Groningen

Obscured planetary nebulae

Steene, Griet Clara Maurits van de

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:

1995

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

Citation for published version (APA):

Steene, G. C. M. V. D. (1995). *Obscured planetary nebulae*. 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.

1. Planetaire Nevels

De naam planetaire nevel is erg misleidend. Planetaire nevels hebben immers helemaal niets te maken met planeten. Wanneer ze voor het eerst waargenomen werden door de telescopen van de 18 de eeuw, zagen deze objecten er niet uit als puntjes, zoals sterren, maar als wazige vlekjes zoals planeten en nevels, vandaar hun naam.

Een planetaire nevel is echter het voorlaatste stadium in het leven van een middelmatig zware ster, die even zwaar is dan onze zon of hoogstens acht keer zwaarder. Een planetaire nevel ontstaat wanneer zo'n ster al zijn waterstof en helium in de kern heeft opgebrand. Deze thermocentrale brandstof houdt normaal de fusiereacties in de kern van de ster gaande. Zonder deze energiebron heeft de ster geen weerstand meer tegen de gravitatiekracht uitgeoefend door de materie in haar buitenste lagen. De zwaartekracht doet dan het centrale gedeelte van de ster samentrekken, waardoor het verhit. De hoge temperatuur in de kern zorgt ervoor dat de buitenste lagen van de ster weggeblazen worden in een stellaire wind gedurende enkele duizenden jaren. Hierbij stoot de ster haar buitenste lagen af en creëert zo een expanderende gas- en stofschil rond zich. Wanneer de overblijvende kern een temperatuur bereikt heeft van ongeveer $25\ 000^{\circ}\text{C}$, is het heet genoeg om de expanderende nevel te doen gloeien (te ioniseren). Gedurende een periode van ongeveer 30 000 jaar, zal deze hete ster - een witte dwergster genoemd - waar te nemen zijn, omgeven door een prachtige nevel! Vermits de ster geen brandstof meer heeft, zal ze uiteindelijk heel langzaam afkoelen en uitdoven als een onzichtbare, zwarte dwerg in het ruimtelijk kerkhof. De nevel, die ondertussen expandeert, weg van de ster, zal zich mengen met de interstellaire materie, waaruit weer een nieuwe generatie sterren en planeten kan geboren worden.

De metamorfose van een opgezwollen reuzenster, ongeveer zo groot als de baan van Mars, in een witte dwerg, die maar zo groot is als de aarde, is een dramatische gebeurtenis. Bijgevolg vertonen zowel de sterren als de nevels een grote verscheidenheid aan eigenschappen. De centrale sterren hebben temperaturen die variëren van $\sim 25\ 000^{\circ}\text{C}$ tot meer dan $\sim 200\ 000^{\circ}\text{C}$ en intrinsieke helderheden van 10 tot meer dan 10 000 keer die van de zon. De jongste planetaire nevels zijn nog geen tiende lichtjaar groot, met dichtheden van $\sim 10\ 000$ atomen per cm^3 , terwijl de grootste meer dan 3 lichtjaar zijn, en hebben dichtheden van ~ 10 atomen per cm^3 , niet veel meer dan de dichtheid van het interstellair medium.

2. Het belang van planetaire nevels

De studie van planetaire nevels verschaft belangrijke informatie over stellaire en galactische evolutie.

Een planetaire nevel is het voorlaatste stadium in het leven van een ster en is dus het resultaat van de voorafgaande evolutiefasen van die ster. Door de samenstelling

van planetaire nevels te bestuderen, kunnen we iets te weten komen over de nucleaire reacties die zich afspelen in het binnenste van sterren tijdens hun evolutie. Planetaire nevels bevatten enerzijds elementen (zoals waterstof, helium, stikstof en koolstof) waarvan de hoeveelheid verandert tijdens het leven van een ster. Ze worden gevormd door nucleaire fusie in de sterkern en worden later door convectie naar het steroppervlak gebracht. Anderzijds bevatten de nevels ook elementen (zoals neon, argon en zwavel) waarvan de hoeveelheid onveranderd gebleven is sinds hun ontstaan. Bijgevolg zijn ze ook belangrijk in de studie van de chemische evolutie van de Melkweg.

Het aantal planetaire nevels en de massa van hun schil bepalen de hoeveelheid verrijkt materiaal dat terug in de ruimte terecht komt. Als men aanneemt dat een nevel gemiddeld 0,2 zonsmassa's bevat en dat er één planetaire nevel per jaar gevormd wordt, dan komen er per eeuw ongeveer 20 zonsmassa's van dit materiaal terug in het interstellair medium terecht. Dit is minstens evenveel als de massa uitgestoten in novae en supernovae, die het explosieve einde vormen van meer massieve sterren. Dit is een ruwe schatting, want er is waarschijnlijk een vrij grote spreiding in de massa van de nevels en het aantal planetaire nevels dat gevormd wordt, is ook niet precies bekend. In elk geval lijkt het, dat planetaire nevels een belangrijke bijdrage leveren tot de verrijking van het interstellair medium met helium, stikstof en koolstof. Dit materiaal vormt dan de basis voor een nieuwe generatie sterren en planeten, en misschien wel voor nieuw leven ...

Planetaire nevels zijn door hun sterke emissielijnen in het spectrum zichtbaar tot op grote afstanden, zelfs tot in andere melkwegstelsels. Met behulp van planetaire nevels kunnen we de chemische samenstelling in verschillende gebieden van een melkwegstelsel bepalen. Deze informatie is belangrijk voor de modelberekeningen van de evolutie van melkwegstelsels en het bestuderen van het effect van de chemische samenstelling op stellaire evolutie en op de vorming van planetaire nevels.

Het geboortecijfer van planetaire nevels zou gelijk zijn aan het sterftcijfer van sterren met een initiële massa van 1 tot 8 zonsmassa's, als ze allemaal door de planetaire nevel fase gaan. Dit is waarschijnlijk niet het geval. Zo hangt de snelheid waarmee de sterkern heter wordt, na het afstoten van de nevel, sterk af van haar massa: hoe lichter de centrale ster, hoe trager zij evolueert. Het zou dus kunnen dat de centrale ster zo traag evolueert, dat de nevel al te ver weg is geëxpandeerd, tegen de tijd dat de ster heet genoeg is om de nevel te doen gloeien. De ster zou dan een lichte witte dwerg worden zonder ooit als planetaire nevel zichtbaar geweest te zijn. Er is ook gesuggereerd dat er minder kans bestaat dat sterren door een planetaire nevel fase gaan, naarmate de metalliciteit van het materiaal waaruit de ster gevormd werd groter is. Het aantal planetaire nevels dat momenteel waarneembaar is, kan dus niet groter zijn dan het aantal middelmatig zware

sterren de tijd planetaire nevels door de sterren voorspellen kan het stellaire in melk

3. Het

Alhoewel fase is in mend f sa's is i hun lev tal plan aantal 000. D uit de vels in van ste

Er Melkw zou de vonden ontdek den zij manier gevond ook de kend v planet een lap zijn or karakt

De Melkw tekort schijnk stof. S het op waard zijn pl met g le ged te zijn planet dus op nauwe

W Melkw het aa paald

sterren dat gevormd werd. Dit aantal hangt ook af van de tijd die deze sterren nodig hebben gehad om tot de planetaire nevelfase te evolueren en de periode dat ze als planetaire nevel zichtbaar zijn. Het eerste wordt gegeven door de waarschijnlijkheidsverdeling voor de vorming van sterren van verschillende massa, de laatste twee worden voorspeld door de theorie van stellaire evolutie. Bijgevolg kan het aantal planetaire nevels beperkingen opleggen aan stellaire evolutiemodellen en het bepalen van stervorming in melkwegstelsels.

3. Het aantal planetaire nevels

Alhoewel de planetaire nevel fase maar een relatief korte fase is in het leven van een ster, is het toch een veel voorkomend fenomeen. Het aantal sterren van een paar zonsmassa's is immers veel groter dan het aantal zware sterren, die hun leven eindigen in een explosieve uitbarsting. Het aantal planetaire nevels in de Melkweg is slecht bepaald. Hun aantal wordt geschat op minstens 10 000 en hoogstens 100 000. Deze onzekerheid is problematisch want, zoals blijkt uit de vorige paragraaf, is het totaal aantal planetaire nevels in de Melkweg een belangrijke parameter in de studie van stellaire en galactische evolutie.

Er zijn circa 1 500 planetaire nevels bekend in onze Melkweg. Volgens de schattingen van hun totaal aantal zou de meerderheid van de planetaire nevels dus nog gevonden moeten worden! Sommige planetaire nevels zijn ontdekt op fotografische platen, waarop ze te onderscheiden zijn van andere objecten door hun nevel. Op deze manier kunnen echter alleen de grotere planetaire nevels gevonden worden. Planetaire nevels die ver weg staan en ook de jonge zien er vaak stellair uit en kunnen niet herkend worden als nevel. Bovendien worden de echt grote planetaire nevels zo ook vaak gemist omdat deze nevels een lage helderheid hebben. De meeste planetaire nevels zijn ontdekt door het waarnemen van een paar van hun karakteristieke emissielijnen in hun optisch spectrum.

De schijnbare verdeling van planetaire nevels in de Melkweg is redelijk goed bekend. Er lijkt echter dat een tekort te zijn aan nevels in het galactisch vlak. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de sterke extinctie door interstellair stof. Stof absorbeert de meeste optische straling en zendt het opnieuw uit op langere golflengten (in het infrarood), waardoor planetaire nevels visueel zwak worden. Zodus zijn planetaire nevels waarschijnlijk "gemist" in gebieden met grote extinctie zoals het galactisch vlak en het centrale gedeelte van de Melkweg. Dit blijken juist de gebieden te zijn met de meeste planetaire nevels. Als men nieuwe planetaire nevels wil vinden in deze gebieden, zal men ze dus op langere golflengten moeten zoeken, waar extinctie nauwelijks invloed heeft.

We zullen wellicht nooit alle planetaire nevel in de Melkweg kunnen vinden. De voornaamste reden waarom het aantal planetaire nevels in de Melkweg zo slecht bepaald is, ligt in het feit dat we geen algemeen aanvaarde,

praktische methode hebben om nauwkeurige afstanden tot planetaire nevels te bepalen. Hierdoor blijft hun ruimtelijke verdeling erg onzeker. Bovendien heeft het gebrek aan correcte afstanden ernstige gevolgen voor de studie van planetaire nevels en hun evolutie. Veel belangrijke fysische parameters zoals de grootte van de nevel, de massa, en de lichtkracht (dit is intrinsieke helderheid) van de centrale ster zijn afstandsafhankelijk.

Het gemis van een goede, algemeen aanvaarde afstandsschaal is het allergrootste probleem in de studie van planetaire nevels, hun evolutie en hun distributie in de Melkweg.

4. De zoektocht naar nieuwe, verduisterde planetaire nevels

We hebben eerst onderzocht of er inderdaad planetaire nevels gemist zijn in optische surveys wegens extinctie.

In 1984 heeft de Infra-Red Astronomical Satellite (IRAS) de hele hemel afgespeurd naar objecten die straling uitzenden op golflengten in het infrarood rond 12, 25, 60 en 100 micron. Als men de verhoudingen neemt van de fluxwaarden op 12 en 25 micron enerzijds, en op 25 en 60 micron anderzijds, en tegen elkaar uitzet in een diagram, bekomt men een zogenaamd kleur-kleur diagram. Het was professor Pottasch en zijn medewerkers opgevallen, dat de planetaire nevels zich in een afzonderlijk gebiedje van dit kleur-kleur diagram bevinden. Dit bracht hen op het idee om nog ongeïdentificeerde IRAS objecten te selecteren, die deze typische planetaire nevel kleuren hebben, en dan na te gaan of het inderdaad planetaire nevels zijn. Dit gebeurt in twee stappen: eerst wordt nagegaan of de kandidaat planetaire nevels continuüm straling uitzendt op radio-golflengten en daarna worden optische spectra genomen. Radiometingen op een frequentie van 5 GHz (dit is op een golflengte van 6 cm) zijn uitermate geschikt als eerste bevestiging dat de IRAS bron inderdaad een planetaire nevel is. Ten eerste wordt de straling op deze golflengten niet verzwakt door extinctie. Ten tweede is de detectie van radiocontinuüm straling een sterke bevestiging dat de infrarood bron inderdaad een planetaire nevel is, omdat het de aanwezigheid van geïoniseerd gas onthult. Ten derde kan men met een radio interferometer nauwkeurige posities bepalen om een correcte associatie te staven.

Radio waarnemingen van kandidaat planetaire nevels in het centrale gedeelte van de Melkweg waren succesvol geweest. Wij hebben dan de zoektocht uitgebreid tot andere gebieden van de Melkweg. In totaal hebben we 171 IRAS-geselecteerde kandidaat planetaire nevels waargenomen met de Westerbork Synthesis Radio Telescope (Nederland) en de Australian Compact Array (Australië). De resultaten van deze waarnemingen worden besproken in hoofdstukken 2 en 3 van dit proefschrift. In totaal hadden 37 IRAS-bronnen een radio flux boven onze detectiegrens. Ze bevinden zich bijna allemaal dichtbij het galactisch vlak. In het kleur-kleur diagram vinden we de meeste

detecties in het gebiedje waar men verwacht dat planetaire nevels meer tijd doorbrengen tijdens hun evolutie. Hun verhouding van infrarood tot radio straling blijkt gemiddeld wat groter te zijn dan voor de reeds bekende planetaire nevels. Dit kan een gevolg zijn van onze selectie criteria (de kandidaten waren immers geselecteerd uit een catalogus van objecten met infrarood straling). Anderzijds zou het kunnen betekenen dat het relatief jonge planetaire nevels zijn of dat ze een speciale chemische samenstelling hebben.

Om na te gaan of de IRAS-objecten, die in de radio gedetecteerd werden, inderdaad planetaire nevels zijn, moesten er optische spectra genomen worden. Hiervoor hebben we waarnemingen gedaan op het Kitt Peak National Observatory (U.S.A.) en het European Southern Observatory (Chili). Deze waarnemingen worden besproken in de hoofdstukken 4 en 5 van dit proefschrift. Eerst hebben we afbeeldingen genomen met een filter die enkel de sterke $H\alpha + [N II]$ emissie-lijnen doorlaat en een filter die de zwakkere continuüm flux doorlaat. Door deze twee beelden te vergelijken konden we bijna alle planetaire nevel kandidaten identificeren. Deze afbeeldingen hebben we vervolgens gebruikt als zoekkaartje om een optisch spectrum te nemen van het juiste object. Bijna alle IRAS geselecteerde planetaire nevel kandidaten die gedetecteerd waren in de radio blijken inderdaad planetaire nevels te zijn. Ze hebben hoge extinctiecoëfficiënten en lijken gemiddeld een temperatuur te hebben van $\sim 60\,000^\circ\text{C}$.

5. Modelleren en afstandsbepaling van de nieuwe planetaire nevels

In spectra wordt de straling van het object uitgespreid per golflengte. De straling die de hete centrale ster van een planetaire nevel uitzendt, is zo energetisch dat het atomen in de nevel ioniseert (d.w.z. dat het elektronen van de atomen onttrekt). Wanneer deze ionen botsen en de vrije elektronen weer opnemen, zenden ze energie uit in spectrale lijnen. Het zijn deze emissielijnen die planetaire nevels hun karakteristieke schijn geven. De lijnen in het spectrum kunnen worden geïdentificeerd door hun golflengten te vergelijken met deze die gezien zijn in laboratoria. De golflengte van de lijn identificeert zowel het element, als het aantal elektronen dat het kwijt is. De golflengte en de sterkte van de emissielijnen hangen niet alleen af van de hoeveelheid van het element, de temperatuur en de dichtheid in de nevel, maar ook van de temperatuur en de lichtkracht van de centrale ster, die de ioniserende straling uitzendt. Bijgevolg kan de fysische toestand van een planetaire nevel redelijk goed bepaald worden aan de hand van zijn spectrum. De modellen die deze fysische parameters berekenen worden "foto-ionisatiemodellen" genoemd. Foto-ionisatiecodes zijn erg complex en kunnen in detail rekening houden met verscheidene fysische processen in de nevel. Foto-ionisatie codes veronderstellen wel altijd een simpele geometrie voor de nevel en een eenvoudige verde-

ling van gas en stof, die niet altijd erg goed overeenkomen met de werkelijkheid. CLOUDY is een van de beter bekende foto-ionisatie codes, geschreven door de Amerikaan Gary Ferland. We hebben een methode ontwikkeld en deze code aangepast, om alle fysische parameters van planetaire nevels te bepalen op een consistente manier. In hoofdstuk 6 stellen we deze methode voor en bespreken we de tests waarmee we de nauwkeurigheid van de modellering nagingen. De methode blijkt de afstandsonafhankelijke fysische parameters van planetaire nevels goed te kunnen bepalen, als er voldoende lijnen gedetecteerd zijn in het spectrum. Een correcte bepaling van de schijnbare grootte van de nevel is cruciaal voor een goede afstandsbepaling en dit is nu juist een grootheid die in praktijk heel moeilijk nauwkeurig te meten is. Bijgevolg blijven de afstanden en de afstandsafhankelijke parameters erg onzeker.

Vervolgens hebben we onze methode gebruikt om modellen te berekenen van de ontdekte planetaire nevels. De resultaten worden besproken in hoofdstuk 7. De nieuwe planetaire nevels hebben gemiddeld een temperatuur van maar $\sim 60\,000^\circ\text{C}$ en zouden dus relatief jong zijn. Toch zijn er een paar planetaire nevels die een heel hoge temperatuur hebben van meer dan $200\,000^\circ\text{C}$. De eigenschappen van deze nevels wijzen erop dat ze een dubbelster zouden kunnen bevatten. De gemiddelde samenstelling van de ontdekte nevels is dezelfde dan de gemiddelde samenstelling van bekende galactische planetaire nevels, behalve voor helium, dat in een grotere hoeveelheid blijkt voor te komen. Een groter hoeveelheid helium wordt vaak waargenomen in planetaire nevels dichtbij het galactisch vlak. De gemiddeld hogere hoeveelheid helium voor onze planetaire nevels is dus in overeenstemming met het feit dat deze nevels dichtbij het galactisch vlak werden gevonden.

6. Een alternatieve statistische afstandsschaal voor planetaire nevels

Zoals reeds vermeld zijn afstandsbepalingen tot planetaire nevels heel controversieel. Er worden verschillende methoden gebruikt om afstanden te bepalen, maar hun resultaten komen niet overeen en er bestaat geen algemeen aanvaarde methode. Slechts voor weinig planetaire nevels is een goede, individueel bepaalde afstand gekend, de afstanden tot alle andere planetaire nevels worden statistisch bepaald. Statistische afstandsschalen zijn gebaseerd op de veronderstelling dat een bepaalde fysische eigenschap voor alle planetaire nevels hetzelfde zou zijn, bijvoorbeeld dat de massa van de nevel. Statistische methodes kunnen onnauwkeurig zijn voor individuele nevels, maar ze kunnen redelijke afstanden geven voor statistische studies van een groot aantal nevels.

We hadden gemerkt dat de schijnbare helderheid van planetaire nevels in het radiocontinuüm afneemt met toenemende straal, dus met de leeftijd van de expanderende nevel. Bijgevolg stelden we voor om deze empirische cor-

relatie t
afstands
den tot
stuk 8 l
tonen a
lende ty
schaal d
galactis
met dez
stand k
een gem
ze empi
ook in c
Bijge
tussen c
een stat
paalt.

7. Besl

Uit dit
niet ont
gebiede
planeta
veel nie

De a
zijn in c
terie. H
heel ou
Ze zou

De n
dig con
taire ne
te lever
de met

De
stander
wachte
de exp
de moe

relatie tussen de afstandsonafhankelijke helderheid en de afstandsschaal-afhankelijke straal te gebruiken om afstanden tot planetaire nevels statistisch te bepalen. In hoofdstuk 8 bespreken we deze statistische afstandsschaal. We tonen aan dat dezelfde calibratierelatie geldt voor verschillende types planetaire nevels en dat we met deze afstandsschaal de te verwachten verdeling van afstanden rond het galactisch centrum bekomen. Vervolgens tonen we aan dat met deze methode voor bijna alle planetaire nevels de afstand kan bepaald worden binnen een factor twee en met een gemiddelde nauwkeurigheid van 40 %. Bovendien is deze empirische correlatie tussen de helderheid en de straal ook in overeenstemming met modelberekeningen.

Bijgevolg besluiten we dat de voorgestelde correlatie tussen de helderheid in het radiocontinuüm en de straal een statistische afstandsschaal voor planetaire nevels bepaalt.

7. Besluit

Uit dit onderzoek blijkt dat veel planetaire nevels optisch niet ontdekt zijn, omdat de extinctie erg groot is. Door in gebieden met grote extinctie op langere golflengten naar planetaire nevels te zoeken kunnen we waarschijnlijk nog veel nieuwe ontdekken.

De aard van de planetaire nevels die niet gedetecteerd zijn in de radio en optische waarnemingen is nog een mysterie. Het kunnen heel erg jonge planetaire nevels zijn, of heel oude met een radioflux beneden onze detectiegrens. Ze zouden ook een soort dubbelsterren kunnen zijn.

De methode ontwikkeld om met CLOUDY op een volledig consistente manier de fysische parameters van planetaire nevels te bepalen, lijkt algemeen goede resultaten op te leveren, maar er is zeker nog meer onderzoek nodig om de methode te verbeteren.

De nieuwe statistische afstandsschaal blijkt goede afstanden te geven voor statistische studies. Het is te verwachten dat ook op andere golflengten de helderheid van de expanderende nevel zal afnemen met leeftijd. Het zou de moeite lonen om dit grondig te onderzoeken.