



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## **Diagnostics for mechanical heating in star-forming galaxies**

Kazandjian, M.V

### **Citation**

Kazandjian, M. V. (2015, June 3). *Diagnostics for mechanical heating in star-forming galaxies*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/33101>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/33101>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/33101> holds various files of this Leiden University dissertation

**Author:** Kazandjian, Mher V.

**Title:** Diagnostics for mechanical heating in star-forming galaxies

**Issue Date:** 2015-06-03

# Indicatoren van Mechanische Verwarming in Stervormende Sterrenstelsels: Samenvatting in het Nederlands

De aardatmosfeer bestaat voornamelijk uit stikstof en zuurstof en voor een klein deel uit andere chemische bestanddelen. De straling van de Zon wordt door de moleculen en stofdeeltjes in de atmosfeer verstrooid. Op een heldere dag resulteert deze interactie in een blauwe kleur. In ons dagelijks leven zien we vaak wolken. Deze wolken bestaan uit water en hebben verschillende eigenschappen die afhangen van de hoogte waarop ze worden gevormd. In het bijzonder hebben ze een dichtheid die verschilt van de gemiddelde dichtheid van hun omgeving. Wolken zijn er in verschillende vormen en afmetingen. Ze hebben een wisselwerking met het zonlicht, waarbij ze een deel van het spectrum van het licht blokkeren en op die manier werken ze als een filter. Wanneer het zonlicht dus op de wolk valt, zal een deel van het licht worden geabsorbeerd een deel wordt gereflecteerd, en het overige licht (straling) bereikt onze ogen.

Het concept van een wolk in de atmosfeer van de aarde kan verder worden doorgetrokken naar andere omgevingen, zoals sterrenstelsels. Sterrenstelsels bestaan uit sterren, gas en stof. De materie dat zich tussen de sterren bevindt, neemt het grootste deel van het volume in en wordt door sterrenkundigen als het interstellair medium aangeduid (afgekort ISM). Sterlicht heeft op eenzelfde manier een wisselwerking met het ISM als de straling van de Zon met de wolken in onze atmosfeer.

Het ISM bestaat uit gas dat een lage dichtheid heeft. De eigenschappen van dit gas verschillen nogal met de gassen die aanwezig zijn in de atmosfeer van de Aarde. In een kubieke centimeter lucht, ongeveer de grootte van een ijsblokje, zitten  $10^{19}$  atomen, terwijl hetzelfde volume van het ISM tenminste een miljoenste van een biljoenste keer ijler is met een dichtheid die in het algemeen varieert van  $10^{-3}$  tot  $10^4$  atomen per  $\text{cm}^3$ . Wanneer we naar de thermische eigenschappen kijken, zien we dat de aardatmosfeer wordt gekenmerkt door verschillende lagen met temperaturen tussen de 200 en 300 Kelvin (wat correspondeert met  $-172.15^\circ\text{C}$  tot  $30^\circ\text{C}$ ). Dit is in tegenstelling tot het ISM, dat verschillende fasen heeft met een veel grotere variatie in temperatuur, namelijk tussen de 10 en  $10^5$  K, (wat correspondeert met  $-263.15^\circ\text{C}$  tot ongeveer  $99700^\circ\text{C}$ ). Onder deze omstandigheden kunnen atomen en moleculen op allerlei manieren worden aangeslagen die zich in de aardatmosfeer niet gauw voordoen.

De fysische verklaring voor hoe verschillende kleuren worden geproduceerd wanneer straling een interactie aangaat met materie, wordt gegeven door de kwantumfysica, en

in het bijzonder door de kwantumstructuur van atomen en moleculen. Sterstraling treedt in wisselwerking met het gas en brengt de verschillende stoffen in het ISM in een aangeslagen toestand. Wanneer de ultraviolette straling van de sterren wordt geabsorbeerd door het gas worden de elektronen in het gas in een hogere energietoestand gebracht. In het geval van moleculen komen, naast de aangeslagen toestanden van de elektronen, ook minder energetische energie overgangen voor. Deze toestanden corresponderen met energiever schillen die ongeveer honderd keer lager kunnen zijn dan die van de aangeslagen toestanden van elektronen. Deze aangeslagen toestanden worden geassocieerd met de rotaties en vibraties van het molecuul. Terwijl de aangeslagen toestand van de elektronen bijvoorbeeld kan resulteren in ultraviolette straling, produceren de rotaties van het molecuul infraroodstraling (IR, golflengten van  $1 \mu\text{m}$  tot  $1 \text{mm}$ ) en sub-millimeter fotonemissie. De UV-straling dringt niet diep door in een interstellaire wolk, net zoals zonlicht maar beperkt doordringt in de wolken van de aardatmosfeer. Dit in tegenstelling tot infraroodstraling die veel dieper in de interstellaire wolk door kan dringen dan de UV straling. Als we dit en het feit dat de wolken in het ISM het visuele en ultraviolette straling blokkeren, in acht nemen, kunnen we zeggen dat het stof dat veel voorkomt in het ISM transparant is voor infraroodstraling, en dat deze straling kan worden gebruikt om dit stof zelf te bestuderen.

De straling, die wordt geproduceerd door wolken, kan worden waargenomen met daarvoor speciaal ontworpen telescopen. De meest gevoelige en modernste telescoop die voor dit doel geschikt is, is het Atacama Large Millimeter Array (ALMA) in Chili. ALMA kan zeer zwakke signalen detecteren. In het algemeen geven submillimeter- en infraroodstraling een indicatie van stervorming in speciale gebieden die functioneren als zogenaamde “sterrenfabrieken”. In ons sterrenstelsel (de Melkweg) wordt bijvoorbeeld ongeveer 1 ster per jaar geboren. In stervormende sterrenstelsels kunnen tot wel 10 000 sterren per jaar worden geboren. De gebieden waar heel heldere sterren worden geboren zijn ook de gebieden waar ze dood gaan. Het snelle tempo waarin sterren worden geboren, verhoogt ook de kans op het vormen van zeer zware sterren (tot 1000 keer de massa van de Zon). Wanneer deze sterren sterven, exploderen ze in een van de sterkste explosies van het universum, zogenaamde *supernovae*. Deze explosies zijn 100,000,000,000,000,000,000,000,000 keer krachtiger dan de meest krachtige nucleaire bom die ooit op aarde tot ontploffing is gebracht. Op deze schaal veroorzaken ze schokgolven en turbulentie in het gas, waardoor het gas wordt verwarmd. Dit verwarmde gas zendt straling uit, die heel anders is dan in rustiger wolken.

De temperatuur van een lichaam wordt gewoonlijk gemeten met een thermometer. Vanuit ervaringen in ons dagelijks leven weten we dat deze werkt door direct contact te maken met het lichaam waarvan we de temperatuur willen meten. Nadat hij lang genoeg met het lichaam in contact is geweest, bereikt het een evenwicht, omdat er geen warmte meer wordt uitgewisseld tussen de thermometer en het lichaam. De temperatuur kan worden afgelezen door de schaalverdeling op de thermometer te gebruiken. Dit is mogelijk in het geval van een analoge en een digitale thermometer. Wanneer we nu het geval bekijken van buitenaards object en we willen de temperatuur ervan meten, dan is het duidelijk dat we geen directe metingen meer kunnen uitvoeren. We moeten daarom indirecte methoden benutten om de temperatuur en andere fysische eigenschappen van

het gas tussen de sterren te bepalen. De meest algemene indirecte methode maakt gebruik van kleuren en hun bijbehorende golflengten. Om te begrijpen hoe dit werkt, geven we een voorbeeld uit ons dagelijks leven. We weten bijvoorbeeld dat gesmolten lava rood gloeit. Deze rode kleur geeft aan dat de temperatuur van het lava ongeveer 1000 graden Celsius bedraagt. Een hete vlam die ontstaat tijdens het lassen van metaal gloeit met een blauwe kleur, wat betekent dat de temperatuur ongeveer 6000 graden Celsius bedraagt. Deze verschuiving in kleur komt door een verandering in de verdeling van de energie van de fotonen in het elektromagnetisch spectrum. In het eerste geval lag de piek van de verdeling van de fotonen bij fotonen met een rode kleur (lagere energie en langere golflengten), met erelatief weinig fotonen in het blauwe deel van het spectrum, terwijl dit in het tweede geval juist omgekeerd is. Nu ligt de piek van de verdeling van de fotonen bij de blauwe fotonen (hogere energie en kortere golflengten) met relatief weinig fotonen in het rode gebied. Wanneer de moleculen door warme of invallende straling in een aangeslagen toestand worden gebracht, zenden ze straling uit op discrete golflengten. Dit staat in tegenstelling tot de bovengenoemde voorbeelden waar de uitgezonden fotonen een breed golflengtegebied beslaan. Verschillende typen aangeslagen toestanden resulteren in emissie op verschillende golflengten. Een goede kennis van de relatieve intensiteiten van de verschillende emissie van de moleculen kan worden gebruikt om de temperatuur en de dichtheid van het gas te bepalen. De heldere emissie van HCN op 88 GHz ten opzichte van CO 115 GHz geeft hoge temperaturen aan in een stervormend sterrenstelsel van rond de 100 K. Dit is bijvoorbeeld een indicator voor hoge temperaturen (ongeacht de oorzaak van deze hoge temperatuur is). Deze moleculaire overgangen kunnen niet alleen worden beschouwd als een “thermometer” van het ISM, maar ze kunnen ons ook hints geven over bepaalde mechanismen die ervoor zorgen dat deze overgangen kunnen plaatsvinden. We kunnen de emissie van deze moleculen beschouwen als “lange afstand detectives” voor het ISM.

In dit proefschrift bestuderen we de effecten van de geabsorbeerde turbulente energie, mechanische energie, op de emissie van de eerder genoemde moleculen zoals HCN en CO. We hebben laten zien dat een kleine hoeveelheid turbulentie genoeg is om grote invloed uit te oefenen op de stralingsintensiteit van verschillende soorten moleculen. We hebben in het bijzonder het belang van de relatieve intensiteiten van de emissie van of HCN, HNC,  $^{13}\text{CO}$  en de verschillende overgangen bestudeerd door middel van het opsporen van de thermische eigenschappen van het ISM. De relatieve intensiteiten van deze verschillende chemische stoffen werden onderzocht onder uiteenlopende omstandigheden, waarbij de invloed van mechanische verwarming in tabelvorm is gezet. Deze tabellen kunnen worden gebruikt om de mate van mechanische verwarming te kwantificeren in stervormende sterrenstelsels waarvan waarnemingen beschikbaar zijn. Bovendien kan informatie over de mechanische verwarming worden geanalyseerd, waarbij een model van mogelijke bronnen voor dergelijke turbulente omgevingen kan worden gepostuleerd. Dit is fascinerend en uitdagend omdat we, terwijl we ons ver van andere sterrenstelsels bevinden, op deze wijze toch belangrijke informatie kunnen afleiden uit een beperkte hoeveelheid gegevens.

