



**UvA-DARE (Digital Academic Repository)**

**Een onderzoek van lijnintensiteiten in eenige sterspectra van het tweede type**  
van Albada, G.B.

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

van Albada, G. B. (1950). Een onderzoek van lijnintensiteiten in eenige sterspectra van het tweede type Amsterdam

**General rights**

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), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

**Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <http://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

EEN ONDERZOEK VAN LIJNINTENSITEITEN IN EENIGE STERSPECTRA  
VAN HET TWEEDE TYPE.

Inleiding.

De titel van dit geschrift geeft de inhoud slechts gedeeltelijk weer. Want bij de analyse, waaraan hier enkele spectra van de sterren  $\delta$  Cephei,  $\nu$  Cygni,  $\pi$  Cephei en  $\delta$  Equulei worden onderworpen, ligt het accent niet zoo zeer op de karakteristieken van deze spectra zelf, als wel op de methode die wordt gevolgd om hen te ontleden. De genoemde spectra behooren alle tot de F- en G-typen, zoodat zij inplaats van de enkele goed gescheiden lijnen die men in de A- en B-sterren aantreft een wirwar van sterke en zwakke lijnen vertoonen, die met het beperkte oplossend vermogen dat ons ten dienste staat, slechts zeer onvolledig kunnen worden gescheiden. In de "Revision of Rowland's Preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths" 1<sup>†</sup>) vindt men tusschen  $\lambda\lambda$  4 000 en 5 000 niet minder dan 5 737 lijnen aangegeven en een dergelijk aantal lijnen moet men ook aantreffen in de spectra van deze sterren. C.W. Allen 2<sup>†</sup>), die alleen de duidelijk zichtbare lijnen in zijn tabellen heeft opgenomen, geeft er nog altijd 2 631 in hetzelfde spectraalgebied. Dit gebied beslaat in onze spectra een lengte van niet meer dan 94 m $\mu$ . Dat beteekent, dat we op elke m $\mu$  61 lijnen moeten verwachten volgens de lijsten van Rowland en 28 volgens Allen. Waren alle lijnen even sterk en gelijkmatig over het spectrum verspreid, dan zouden ze op deze wijze volkomen inéenvloeien. Nu dit niet het geval is, treden de sterkste lijnen duidelijk afzonderlijk naar voren; we kunnen echter zeker zijn, dat hun totale gemeten sterkte in niet geringe mate wordt beïnvloed door de naburige zwakke lijnen, die niet meer afzonderlijk kunnen worden herkend. Zoodoende komen we al direct te staan tegenover de moeilijke vraag van het zoo goed mogelijk ontleden en scheiden der b l e n d s. D.w.z., we moeten trachten uit de gemeten lijnsterkten, die feitelijk slechts gecombineerde intensiteiten zijn voor geheele complexen van lijnen, de sterkte der afzonderlijke componenten af te leiden.

Het vraagstuk van de analyse der blends heeft hier een geheel ander karakter dan voor het zonnenspectrum. In de fotografische opnamen, die de grondslag vormen voor de Utrechtsche Atlas 3<sup>†</sup>) b.v., was de dispersie 3 m $\mu$ /A, zoodat het gebied tusschen  $\lambda\lambda$  4 000 en 5 000 hier een lengte van 3 meter vertegenwoordigt. Op deze opnamen vindt men dus nog geen twee Rowland-lijnen op één millimeter. Tal van lijnen, die in onze spectra volkomen inéenvloeien, zijn hier scherp gescheiden. Hoewel ook bij het zonnenspectrum de verbreding der lijnen door het instrument niet kan worden verwaarloosd, ligt het accent hier toch voornamelijk op de physische blends, d.w.z. lijnen, waarvan ook de ware profielen niet volkomen gescheiden zijn. Natuurlijk komen ook in onze spectra dergelijke physische blends voor, maar hun beteekenis is slechts gering in verhouding tot de belangrijkheid der instrumenteele blends.

Dit beteekent, dat de behandeling der blends volgens een geheel andere methode moet geschieden. Bij de physische blend gaan we er van uit, dat licht van één bepaalde, nauwkeurig begrensde golflengte door atomen van verschillende soort kan worden geabsorbeerd. Hier moeten dus, om de totale absorptie te krijgen, de absorptie-coëfficiënten dezer atomen worden samengeteld, waarna de residu-intensiteit uit de totale absorptie-coëfficiënt kan worden berekend. Bij de instrumenteele blend zijn het echter niet de absorptie-coëfficiënten, maar de lijndiepten der afzonderlijke lijnen die moeten worden samengeteld. Dit heeft tot gevolg, dat de oppervlakte-integralen van de profielen der absorptielijnen eenvoudig bij elkaar kunnen worden opgeteld, zoodat de totale equivalentbreedte van de instrumenteele blend gelijk is aan de som der equivalentbreedten van de afzonderlijke componenten. Deze eenvoudige regel gaat bij de physische blend niet meer op.

Wij hebben in dit onderzoek alle blends als instrumenteele blends beschouwd. Geheel gerechtvaardigd is deze veronderstelling niet. Want in de spectra van  $\delta$  Cephei etc. moeten fysieke blends even goed voorkomen als in het zonnespectrum. Met het oog hierop werd zelfs een methode ontwikkeld om deze effecten numeriek in rekening te kunnen brengen. Toegepast werd hij echter niet, daar de beteekenis van de instrumenteele blends zooveel grooter was, dat reeds de onzekerheid in het aanbrengen van een correctie voor dit laatste effect de totale correctie voor de fysieke blend in verreweg de meeste gevallen overtreft. De methode van analyse van de fysieke blend zal hier dus niet worden behandeld.

Ook de behandeling der zuiver instrumenteele blends brengt reeds groote moeilijkheden met zich mee en hun analyse zou volkomen onmogelijk zijn, wanneer we niet de beschikking hadden over vergelijkingsmateriaal.

Gelukkig kennen we de oorsprong der meeste lijnen, zoodat we reeds uit algemeene theoretische overwegingen voor een gegeven lijn een bepaalde intensiteit ongeveer kunnen voorspellen. De verdeling van de gemeten intensiteit van een blend over zijn verschillende componenten is dus mogelijk aan de hand van de theorie; achteraf kan dan blijken, of de aangenomen verdeling leidt tot tegenstrijdigheden, m.a.w. of hij kan worden gehandhaafd of niet. Blijkt hij onjuist, dan moet de geheele analyse van voren af aan op een andere grondslag worden begonnen, waarbij dan maar weer moet worden afgewacht in hoeverre de hierbij verkregen nieuwe uitkomsten sluitend zijn. Zoo wordt de analyse van een dergelijk ingewikkeld spectrum een werk van herhaaldelijk probeeren.

Het is dan ook van het grootste belang, een methode te ontwikkelen, die 1) de analyse zelf niet al te tijdrovend maakt, en die 2) de middelen levert om een eventueele nieuwe poging zoodanig aan de vorige te verbinden, dat niet telkens het geheele werk opnieuw behoeft te worden gedaan, maar dat een deel van de vroeger gevonden uitkomsten zijn waarde behoudt.

In het begin van het onderzoek werd aan deze laatste eisch van "beweeglijkheid" nog niet veel aandacht besteed. Daar echter verschillende malen bleek, dat de verkregen uitkomsten tegenstrijdig waren of in conflict kwamen met onze algemeene kennis aangaande deze sterren, was het noodig de methode van bewerking te herzien.

Zoo werden verschillende methoden als onbruikbaar verworpen, terwijl de eisch van "beweeglijkheid", die aan een goede methode moet worden gesteld, steeds duidelijker naar voren komt. Onder deze omstandigheden was het onmogelijk een uitgebreid materiaal te bewerken. De beperking tot slechts zes of zeven spectra was dus een gevolg van de noodzaak eerst de methode tot ontwikkeling te brengen, alvorens een omvangrijk materiaal kon worden bewerkt.

Hoewel het gebruikte materiaal dus veel te beperkt is om eenigszins volledige gegevens te kunnen verschaffen omtrent het veranderlijke spectrum van  $\delta$  Cephei, zijn toch ook de verkregen resultaten niet geheel zonder beteekenis. Dit blijkt o.a. uit de uitkomst die werd verkregen met betrekking tot de gravitatie. De door ons gevonden waarde is aanzienlijk grooter dan de uitkomst die jaren geleden werd verkregen door Pannekoek en Reesinck 4<sup>+</sup>). De oorzaak van dit verschil blijkt te liggen in de methode van reductie. Reesinck maakte gebruik van geschatte lijnintensiteiten. Hoewel zijn schattingen met groote nauwkeurigheid werden verricht, zoals blijkt uit hun geringe spreiding, was het niet mogelijk hieraan een objectieve intensiteitsschaal te koppelen. Dit was - naast de gebrekkigheid van de toenmalige theorie over den bouw der steratmosferen - mede oorzaak van zijn veel te kleine uitkomst voor de gravitatie.

Ook de andere, door latere onderzoekers gevolgde methoden schieten te kort in nauwkeurigheid. C.J.Krieger 5<sup>+</sup>) benaderde de profielen der absorptielijnen in de registreercurven door gelijkbeenige driehoeken, zoodat hij diepte en breedte aan het gemeten profiel kon aanpassen. De correctie voor blends werd door hem volkomen verwaarloosd. Het zal echter blijken, dat een dergelijke correctie niet kan worden verwaarloosd, zeker niet in het spectrum van  $\delta$  Cephei. In dit spectrum zijn de middelsterke

lijnen ongeveer twee maal zoo sterk als de overeenkomstige lijnen in het zonnenspectrum, terwijl voor de allersterkste lijnen het omgekeerde geldt. Lijnen, die in de zon een intensiteitsverhouding hebben van 1 : 10 kunnen zich in het spectrum van  $\delta$  Cephei verhouden als 2 : 5, zoodat de relatieve zwakte van de eene component in de zon geen reden kan zijn de invloed van deze lijn ook in het spectrum van  $\delta$  Cephei te verwaarloozen. Van de ion-lijnen, die in het spectrum van  $\delta$  Cephei zeer zijn versterkt, zien we daarbij nog geheel af. In het vervolg zal blijken, hoe een verwaarloozing of foutieve toepassing der blend-correcties kan leiden tot geheel verkeerde uitkomsten b.v. met betrekking tot de temperatuur.

Het vinden van een betrouwbare, maar tevens "beweeglijke" methode voor de analyse van blends is dus één der opgaven, die bij het onderzoek van een spectrum als dat van  $\delta$  Cephei moeten worden opgelost. Dit probleem kan echter niet worden losgemaakt van de behandeling van enkele andere moeilijkheden.

Daar is in de eerste plaats het vraagstuk van de bepaling van de *continue achtergrond*. Evenmin als we in onze spectra een werkelijk alleenstaande lijn kunnen verwachten, evenmin zullen we hierin een plaats aantreffen, die volkomen vrij is van absorptie. Leggen we dus de achtergrond, van waaruit alle intensiteiten worden gemeten door die punten van het spectrum waar de absorptie het kleinst is, dan beteekent dat nog, dat van alle werkelijke absorpties een constant bedrag wordt afgetrokken. Dit beteekent een verkleining der gemeten intensiteiten, die natuurlijk vooral van groote invloed is bij de zwakste lijnen. We moeten dus zoeken naar een methode, die de plaats van de continue achtergrond bepaalt onafhankelijk van de diepte der "dalen" tusschen de absorptielijnen. Hierbij kunnen we in hoofdzaak op dezelfde wijze te werk gaan als bij de analyse van blends: uit theoretische overwegingen omtrent de te verwachten lijnsterkten kunnen we trachten de continue achtergrond zoo goed mogelijk te localiseeren.

Bij al deze onderzoekingen doet zich de moeilijkheid voor, dat we om de sterkte der absorptielijnen aan de hand van de theorie te kunnen voorspellen, gegevens moeten hebben aangaande de structuur van de dampkring van de ster, terwijl we anderzijds juist deze structuur uit het spectrum moeten afleiden. Dit beteekent, dat de beide deelen van het onderzoek: de analyse van het spectrum en de studie van de atmosfeer hand in hand moeten gaan. Met voorloopige veronderstellingen omtrent de structuur van de atmosfeer kunnen we beginnen en aan de hand daarvan de analyse van het spectrum doorvoeren, waarbij dan moet blijken of de uiteindelijk verkregen resultaten met ons uitgangspunt overeenstemmen. Is dit niet het geval, dan moet de analyse worden veranderd en in overeenstemming gebracht met de nieuwe uitkomsten; opnieuw treedt hier de eisch van de "beweeglijkheid der methode" zeer dwingend naar voren.

Een derde, fundamenteele moeilijkheid bij de analyse ligt in de onzekerheid van de z.g. "instrumentaal-kromme". De profielen der absorptielijnen, zooals ze in ons registrogram verschijnen zijn natuurlijk aanzienlijk breeder dan de werkelijke profielen, die met een instrument van zeer groot oplossend vermogen zouden worden gemeten. Deze groote relatieve breedte van het "instrumentaalprofiel" is juist de voornaamste oorzaak waardoor de blends zoo moeilijk zijn te ontwarren. Voor een juiste doorvoering van de analyse is het echter noodzakelijk dit profiel te kennen. Gewoonlijk bepaalt men de vorm van de instrumentaalkromme uit het profiel van de emissielijnen uit het vergelijkingspectrum, omdat daarvan de werkelijke breedte kan worden verwaarloosd en deze methode is ook hier gevolgd. Achteraf echter bleek, dat fotografische effecten oorzaak zijn, dat het profiel van deze emissielijnen aanmerkelijk afwijkt van het instrumentaalprofiel zooals dit op het sterspectrum moet worden toegepast. Een correctie achteraf, waardoor deze fout kon worden hersteld was noodig, maar kon slechts tastenderwijs worden

doorgevoerd. Aan de discussie van het instrumentaalprofiel en van de fotografische effecten die hierop invloed hebben is dan ook een aparte bespreking gewijd.

Hoewel dus in dit geschrift noodgedwongen zeer veel aandacht moet worden besteed aan de ontwikkeling van de methode van onderzoek, kan het toch op dit punt niet volledig zijn. De onvolledigheid ligt reeds besloten in de aard van het gebruikte materiaal. Dit bestaat uit de "aequivalentbreedten" die vervat zijn in Publ. No. 6 van het Sterrekundig Instituut te Amsterdam (6<sup>+</sup>). De aequivalentbreedte is een maat voor de totale absorptie van een lijn; wanneer we deze getallen gebruiken doen we dus afstand van het gebruik van de kleinere details in het spectrum, die in de vorm van het profiel te voorschijn komen. Slechts één gegeven, dat in Publ. 6 niet is vervat, zullen we nog nodig hebben, n.l. de "voetbreedte" van de lijn. Onze methode van onderzoek blijft echter beperkt ten aanzien van het benutten der kleine details. Hij heeft bovendien een rekenkundig en geen meetkundig karakter; daar we geen gebruik maken van het geheele profiel, maar slechts van enkele, in getallen uitgedrukte maten. Deze beperkingen zijn ons opgelegd door de aard van het gebruikte materiaal; wilden wij ons hiervan ontdoen, dan zouden wij het geheele werk dat voor Publ. 6 werd verricht moeten verwerpen. De bereikte resultaten laten zien, dat dit niet nodig is, dat men in tegendeel ook met de hier gegeven beperkingen een gemakkelijke en vruchtbare methode kan ontwikkelen. Er is dus geen reden, ons aan deze beperkingen te willen onttrekken.

## II. De ontwikkeling van de methode.

### a.) Vergelijking van lijnen van gelijke intensiteit.

Waar de methode van onderzoek waarmee het gegeven materiaal is behandeld zelf in de loop van de berekeningen tot ontwikkeling moest worden gebracht, is het gewenscht deze ontwikkeling hier in korte trekken weer te geven. Het is niet voldoende alleen de methode te beschrijven die tenslotte als de meest geschikte is uitgekozen. Er zouden dan tal van vragen blijven over onderdeelen, die eventueel kunnen worden vereenvoudigd of die juist omgekeerd moeten worden uitgebreid, zonder dat kan worden beoordeeld of een dergelijke vereenvoudiging of uitbreiding toelaatbaar of gewenscht is. Men is bij een onderzoek als het onderhavige altijd gedwongen een groot aantal vereenvoudigingen in te voeren, verwaarloozingen te begaan en de vraag doet zich dan telkens voor of men dit kan doen zonder aan de resultaten ernstige schade te berokkenen en of men hierin nog verder kan gaan. Een te zeer vereenvoudigde methode leidt tot onbetrouwbare uitkomsten, een te ingewikkelde wijze van onderzoek brengt een enorme hoeveelheid overbodig rekenwerk met zich mee. Vereenvoudigingen kunnen echter op tal van punten worden aangebracht en bij al deze onderdeelen moet men de gevolgen hiervan nagaan. Het zou verkeerd zijn, de resultaten die in dit opzicht werden bereikt, hier niet te vermelden.

Het blijkt n.l. dikwijls, dat men in de vereenvoudigingen vrij ver kan gaan, wanneer men maar de noodige voorzorgen in acht neemt. Aan de andere kant blijkt, dat een vrij gedetailleerd onderzoek tot volkomen foutieve resultaten kan leiden wanneer bepaalde niet direct zichtbare, maar toch essentiële verbindingen tusschen de verschillende grootheden die in het onderzoek een rol spelen, over het hoofd worden gezien. Dat deze fout in soortgelijke onderzoekingen dikwijls wordt gemaakt, kan blijken uit de literatuur. En al gaat het hier dan niet om principieel nieuwe dingen, het is toch nodig een waarschuwing te laten hooren tegen een al te snel trekken van conclusies zonder dat voldoende acht wordt geslagen op de verschillende factoren die het onderzoek compliceeren.

Tenslotte is het niet zoo, dat slechts één methode geschikt zou zijn voor een onderzoek zoals we dat hier bedrijven. In tegendeel. Verschillende methoden zijn bruikbaar en men zal een keus moeten doen al naar het doel dat men nastreeft. Heeft men b.v. geen ander doel dan het bepalen van temperatuur en ionisatiegraad van de ster materie, dan zal men met een veel eenvoudiger methode