



Aequivalente breedten van Fraunhoferlijnen in het zonnenspectrum

<https://hdl.handle.net/1874/319231>

1
A. qu. 192, 1934

AEQUIVALENTE BREEDTEN
VAN FRAUNHOFERLIJNEN
IN HET ZONNESPECTRUM

G. F. W. MULDER

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

AEQUIVALENTE BREEDTEN VAN
FRAUNHOFERLIJNEN IN HET ZONNESPECTRUM

RIJKSUNIVERSITEIT UTRECHT



1393 9297

RIJKSUNIVERSITEIT UTRECHT
BIBLIOTHEEK DER

Diss. Utrecht 1934

AEQUIVALENTE BREEDTEN VAN FRAUNHOFERLIJNEN IN HET ZONNESPECTRUM

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE AAN
DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP
GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS
Dr. C. W. STAR BUSMANN, HOOGLEERAAR IN
DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,
VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT DER
UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN
DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE
TE VERDEDIGEN OP MAANDAG 9 JULI 1934
DES NAMIDDAGS TE VIER UUR

DOOR

GERARDUS FRANCISCUS WILHELMUS MULDER

GEBOREN TE NIJMEGEN

NIJMEGEN — 1934

N. V. UITGEVERSMAATSCHAPPIJ «DE GELDERLANDER»

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

Aan mijn Ouders

INHOUD

	Blz.
INLEIDING.	11
HOOFDSTUK I. APPARATUUR EN MEETMETHODE.	
§ 1. De zonnetelescoop	15
§ 2. De meetmethode	16
§ 3. Foutenbronnen	17
§ 4. Contrôle-metingen	18
HOOFDSTUK II. METINGEN.	
§ 5. De bewerkte platen (Tabel I)	22
§ 6. Aequivalente breedten van 462 FRAUNHOFERlijnen (Tabel II t/mVIII)	23
§ 7. Vergelijking met metingen van andere onderzoekers (Tabel IX en X)	40
HOOFDSTUK III. IJKING DER ROWLANDSCHAAL IN AEQUIVALENTE BREEDTE.	
§ 8. Grafische voorstelling der metingen (fig. 1); ijking der ROWLANDSchaal (fig. 1 en Tabel XI)	43
§ 9. Vergelijking met ijkings van andere onderzoekers (Tabel XII en XIII)	48
HOOFDSTUK IV. ENERGIEVERDEELING IN HET ZONNESPECTRUM EN TEMPERATUUR DER ZON.	
§ 10. De energie in het zonnenspectrum als functie van de golflengte	51
§ 11. Verklaring van de afwijkingen tusschen de energiekromme van het continue spectrum en ABBOT's gemiddelde kromme, door de invloed der FRAUNHOFERlijnen quantitatief in rekening te brengen (fig. 2)	54
§ 12. De totale hoeveelheid in de FRAUNHOFERlijnen geabsorbeerde energie (fig. 3) en de invloed hiervan op de randverzwakking en op de temperatuur der zon	66
SUMMARY.	70

Het verschijnen van dit proefschrift geeft mij de gelegenheid, mijn diepgevoelde dank te betuigen aan U, Hoogleraren en Docenten in de Faculteit der Wis- en Natuurkunde aan de Utrechtsche Universiteit, voor hetgeen Gij tot mijn wetenschappelijke vorming hebt bijgedragen.

Hooggeleerde ORNSTEIN, Hooggeachte Promotor, het is voor mij een onschatbaar voorrecht geweest, dat ik, als astronoom, op de Heliophysische afdeeling van Uw modern Laboratorium heb mogen werken. Hier vond ik gelegenheid, die methoden en theorieën der Physica te leeren kennen, welke in de hedendaagsche Astronomie zulk een uitgebreide toepassing vinden. Voor de wijze, waarop Gij Uw Instituut leidt, heb ik groote bewondering gekregen. Ik zeg U oprecht dank voor Uw warme belangstelling in mijn werk en in mijn persoon.

Zeergeleerde MINNAERT, dat ik mij onder Uw bezielende leiding gedurende vijf jaar aan de studie der Zon heb mogen wijden, en daarbij heb kunnen profiteeren van Uw zeer veelzijdige kennis, is voor mijn opleiding van groote beteekenis geweest. Dank zij Uw voortdurende hulp en nooit verflauwend enthousiasme heb ik het onderzoek, dat Gij mij hebt opgedragen, ten einde kunnen brengen. Door de samenwerking met U en door Uw heldere colleges heb ik zeer veel geleerd, wat mij later van groot nut zal kunnen zijn. De innemende bereidwilligheid, waarmee Gij steeds klaar staat voor ieder, die Uw raad komt vragen, zal mij altijd een voorbeeld blijven. Uw liefde voor de Wetenschap en de groote bekoring die van Uw persoonlijkheid uitgaat, maken deze jaren tot de schoonste van mijn studietijd.

Zeergeleerde VAN DER BILT, behalve mijn opleiding tot practisch astronoom heb ik zóó veel aan U te danken, dat het mij onmogelijk is, dit in enkele regels te uiten. Gij hebt mij de weg aangewezen, die Gij met Uw rijpe ervaring voor mij als de juiste zag, Gij hebt al Uw krachten gegeven om voor mij datgene

te bereiken, waartoe Gij mij hebt willen waardig achten, Gij zijt mij geworden tot een Vriend in de hoogste beteekenis van het woord. Ik hoop dat, wanneer onze plannen mochten slagen, het groote vertrouwen dat Gij in mij hebt gesteld, niet beschaamd mag worden, en dat Uw verwachtingen niet zullen worden teleurgesteld.

Hooggeleerde KRAMERS, Uw boeiende colleges hebben mij een denkbeeld gegeven van de moderne ontwikkeling der theoretische Natuurbeschrijving, en zullen mij steeds een schoone herinnering blijven.

Hooggeleerde WOLFF, door Uw fijne colleges hebt Gij mij het onmisbare mathematische hulpapparaat verschaft, en tevens mijn interesse voor de Wiskunde om haarszelfs wil opgewekt.

Hooggeleerde NIJLAND, op aangename wijze ontving ik van U onderwijs in de klassieke Astronomie, waarvoor ik U zeer erkentelijk ben. Ook zal ik steeds met genoegen terugdenken aan de tijd, dat ik met de bescheiden instrumenten der Sterrewacht heb kunnen werken.

Hooggeleerde BARRAU en Emeritus DE VRIES, ik betuig U mijn hartelijke dank voor het vele, dat ik van U geleerd heb.

Zeergeleerde GROOT, ik stel het zeer op prijs, dat ik door Uw interessante colleges in staat was, kennis te nemen van eenige hoofdstukken uit de moderne Astronomie.

Tenslotte een hartelijk woord van dank aan de velen op het Fysisch Laboratorium, met wie ik door banden van vriendschap verbonden ben — ik zal onze prettige geest van kameradschap nooit vergeten.

Inleiding.

In 1802 ontdekte WOLLASTON, die voor het eerst een spectroscop met *spleet* gebruikte, dat het zonnenspectrum een aantal donkere lijnen bevat. FRAUNHOFER was in 1816 in staat, met zijn verbeterde instrumenten reeds eenige honderden van deze lijnen waar te nemen en de golflengten ervan nauwkeurig te bepalen. Hij had daarbij uitsluitend een optisch doel, nl. het verkrijgen van golflengtemerken voor het vervaardigen zijner achromatische objectieven. — Deze lijnen in het zonnenspectrum werden later naar hem genoemd.

Het onderzoek werd niet verder voortgezet. Het duurde tot 1858, voordat door het werk van KIRCHHOFF over het *verband tusschen emissie en absorptie* het ware karakter der FRAUNHOFERlijnen duidelijk werd. Daarbij bleek, dat een nauwgezette kwalitatieve en kwantitatieve studie van de absorptielijnen in sterrenspectra het zou mogelijk maken, de samenstelling van sterrenatmosferen te leeren kennen.

Sindsdien hebben vele onderzoekers de studie van het zonnenspectrum voortgezet, gebruik makend van nieuwere machtige hulpmiddelen: het *buigingsrooster* en de *fotografie*. De belangrijkste arbeid op dit gebied is verricht door ROWLAND. Zijn werk verscheen onder de titel: „Preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths” (Chicago 1896)¹⁾.

Wijziging der standaardgolflengten maakte een herziening noodzakelijk; in 1928 verscheen dan ook: „Revision of ROWLAND's Preliminary Table, enz.,” bewerkt door ST. JOHN, MOORE, WARE, ADAMS en BABCOCK (Carnegie Institution of Washington), die wij verder zullen aanduiden als R. R. T. Het daarin behandelde deel van het spectrum strekt zich uit van de

¹⁾ Deze tafels zijn ook gepubliceerd in: Ap. J. 1, 2, 3, 4 en 5, 1897—99.

golflengte 2975 Å. tot 10220 Å., de grenzen van het tot dusver fotografisch onderzochte gebied. Van 2975 Å. tot 7330 Å., de grenzen van ROWLAND's oorspronkelijke tabel, is de R. R. T. werkelijk volledig; van 7330 Å. tot 10.220 Å. is zij dit nog wel, wat de zonnelijnen betreft, maar van de aardsche lijnen zijn alleen de sterkste opgegeven.¹⁾

De R.R.T. is nog steeds het standaardwerk voor den heliophysicus.²⁾ Men vindt daarin gegevens over 21835 lijnen, waarvan er 2368 door de atmosfeer der aarde worden veroorzaakt. Deze aardsche lijnen zullen wij in het volgende buiten beschouwing laten.

Van de lijnen wordt opgegeven:

1. de golflengte;
2. de indentificatie, indien bekend;
3. de intensiteit.

Wat de *golflengten* betreft, kan men tevreden zijn: deze worden opgegeven in 7 decimalen met een middelbare fout van 2 eenheden van de laatste decimaal — een voor de practijk in alle gevallen meer dan voldoende nauwkeurigheid.

De *identificatie* der lijnen is nog onvolledig: ongeveer 60% is nu geïdentificeerd, doch dit aantal zal langzamerhand toenemen, als men de bandenspectra der moleculen beter heeft leeren kennen.

Wij zullen ons echter uitsluitend bezighouden met *de intensiteit der FRAUNHOFERlijnen*: de opgave hiervan behoeft n.l. noodzakelijk verbetering.

ROWLAND heeft, uit fotografische opnamen, de sterkte der lijnen *visueel* geschat in een willekeurige schaal, welke te vergelijken is met die van de grootte-klassen der sterren. De zwakste lijnen hebben hierbij de laagste nummers gekregen: —3, —2 en —1; de middelsterke lijnen zijn ondergebracht in klassen van 0 tot 10, terwijl de weinige zeer sterke lijnen zijn aangegeven

¹⁾ Een volledige lijst voor dit gebied vindt men in: BAUMANN und MECKE, „Das ultrarote Sonnenspectrum” (Barth, Leipzig, 1934). Hierin wordt bovendien van een groot aantal lijnen der waterdampbanden, die in de R. R. T. alleen als atm. zijn vermeld, de identificatie opgegeven.

²⁾ Een aantal nieuwe gegevens voor die FRAUNHOFERlijnen tusschen 3894 en 6635 Å., die ook in het spectrum der zonnevlekken voorkomen, vindt men in: CHARLOTTE E. MOORE, „Atomic Lines in the Sun-Spot Spectrum” (Princeton, 1933).

door de getallen 20, 30, 40, enz. In de R.R.T., in de tabellen van MOORE, en in die van BAUMANN en MECKE is deze schaal overgenomen.

Reeds lang deed zich de behoefte gevoelen aan een objectieve maat voor de intensiteit der FRAUNHOFERlijnen. Nog afgezien van het feit, dat de schattingen van ROWLAND vrij ruw zijn, bestaan er twee groote bezwaren tegen zijn schaal:

1. de beteekenis der aangegeven getallen is onbekend: ze geven geen quantitative maat in een bepaalde eenheid, en men heeft geen reden, aan te nemen, dat ze aan de wet van FECHNER zullen voldoen, zooals de grootte-klassen der sterren; bovendien weet men niet, of ROWLAND zich meer door de *diepte* of meer door de *breedte* der lijnen heeft laten leiden — met eenzelfde visueele indruk kunnen verschillende ware intensiteitsverdelingen in de spectraallijn overeenkomen;

2. lijnen uit verschillende golflengtegebieden zijn niet meer met elkaar te vergelijken — de schattingen zijn een gecompliceerde functie van de eigenschappen van het oog en de fotografische plaat, en als zoodanig afhankelijk van de golflengte.

De fotografisch-fotometrische intensiteitsmeting moet hier dan ook te hulp worden geroepen. Nu is het alleen voor de sterkste der FRAUNHOFERlijnen mogelijk, het ware intensiteitsprofiel te bepalen. Dit is het eerst door SCHWARZSCHILD uitgevoerd¹⁾, later hebben verschillende andere onderzoekers op dit gebied gewerkt.²⁾

Voor de zwakkere lijnen is het oplossend vermogen van de tegenwoordig beschikbare instrumenten te gering om de ware vorm te bepalen. MINNAERT heeft aangegeven³⁾, dat in zulke gevallen *de oppervlakte der waargenomen intensiteitskromme* de meest geschikte maat voor de sterkte van FRAUNHOFERlijnen is; hoe het ware profiel der lijn door het instrument ook vervormd moge worden, altijd zal de *oppervlakte constant blijven*, omdat

¹⁾ SCHWARZSCHILD, Sitzungsber. d. Preusz. Akad. d. Wiss. (5 Nov. 1914, S. 1183).

²⁾ MINNAERT, Versl. Ned. Natuur- en Geneesk. congres, 1923 en 1927; v. KLÜBER, Zs. f. Ph. 44, 481, 1927; UNSÖLD, Zs. f. Ph. 44, 793, 1927; MINNAERT, Zs. f. Ph. 45, 610, 1927; MINNAERT und MULDER, Zs. f. Astrophys. 1, 192, 1930; RIGHINI, Mem. del. Oss. Astrof. di Arcetri, 1931, blz. 31; PLASKETT, M. N. 91, 870, 1931.

³⁾ MINNAERT, Zs. f. Phys. 45, 610, 1927.

deze evenredig is met de in de lijn verdwenen *energie*. Als eenheid is hierbij te nemen de energie, die in het naburige continue spectrum per golflengte- of frequentie-eenheid aanwezig is.

De verkregen waarde, die we *totaalabsorptie* of *aequivalente breedte* der lijn zullen noemen, heeft ook theoretisch belang, zooals later bleek.

Metingen op dit gebied zijn te Utrecht sinds 1927 verricht ¹⁾ en ook elders, zij het slechts sporadisch, uitgevoerd (zie § 7).

In dit proefschrift zal een *systematisch onderzoek van het geheele zonnenspectrum* worden beschreven, dat ons in staat stelt de ROWLANDSchaal voor alle golflengten in totaalabsorptie te ijken. Deze ijking is een voorloopig hulpmiddel: het einddoel moet immers zijn de individueele meting der intensiteit van alle zonnelijnen, waardoor de schaal van ROWLAND geheel kan gemist worden. Met deze reusachtige arbeid zullen zeker nog wel vele jaren gemoeid zijn, en daar zeer veel fundamenteel werk op de schaal van ROWLAND is gebaseerd, heeft een ijking reeds groote practische waarde.

Aangenomen is, dat de intensiteit van een FRAUNHOFERlijn *constant* is. Deze onderstelling is voor ons doel noodzakelijk. Er zijn echter aanwijzingen, dat sommige lijnen wel in sterkte wisselen. ²⁾ De schommelingen zijn waarschijnlijk te klein om onze resultaten merkbaar te kunnen beïnvloeden.

¹⁾ MINNAERT, Zs. f. Phys. 45, 610, 1927; MINNAERT und v. ASSENBERG, Zs. f. Phys. 53, 248, 1929; MINNAERT und MULDER, Zs. f. Astrophys. 1, 192, 1930.

²⁾ MINNAERT, BLEEKER und v. D. MEER, Zs. f. Astrophys. 8, 59, 1934.

HOOFDSTUK I.

Apparatuur en meetmethode.

§ 1. De Zonnetelecoop.

De opnamen werden gemaakt met de verticale zonnekijker van het Heliophysisch Instituut te Utrecht, die in 1919 naar het ontwerp van Prof. JULIUS in een speciaal daartoe ingerichte vleugel van het Fysisch Laboratorium is voltooid. ¹⁾ Het instrument vertoont eenige gelijkenis met HALE's Torentelecoop op de Mount Wilson. In een openschuifbare hut op het dak van het gebouw bevinden zich de coelostaat en de tweede spiegel; deze hebben een diameter van 35 cm en zijn 5,5 cm dik.

De kijkerbuis doorboort de plafonds en vloeren van 3 onder elkaar gelegen vertrekken. De opening van het Zeiss-objectief bedraagt 25 cm en de brandpuntsafstand 13 m, zoodat een zonsbeeld van ongeveer 12 cm diameter wordt gevormd.

Verticaal onder de kijker, in een put met nagenoeg constante temperatuur, is een roosterspectograaf van het auto-collimatietype geplaatst, met een brandpuntsafstand van 4 m. Het instrument rust op een stalen punt en is daardoor gemakkelijk draaibaar en in alle richtingen beweegbaar. Het door ROWLAND vervaardigde rooster heeft een oppervlakte van 5×8 cm² en bevat 568 lijnen per mm. In de 2^e orde is het theoretisch oploszend vermogen 90.000, terwijl de verkregen dispersie 2 Å. per mm bedraagt.

Karakteristiek voor de opstelling is de verlichtingslens, die op korte afstand boven de plaats van het zonsbeeld is aangebracht, en het objectief afbeeldt op het rooster. Hierdoor wordt

¹⁾ Een uitvoerige beschrijving van de hand van Prof. JULIUS zelf vindt men in: B. A. N. 1, 119, 1922, en in: „Hemel en Dampkring” 1923, blz. 57.

bereikt, dat het rooster altijd op dezelfde wijze belicht wordt, onafhankelijk van de plaats van de spleet.

§ 2. De Meetmethode.

De intensiteitsmetingen werden uitgevoerd volgens de op het Fysisch Laboratorium te Utrecht gebruikelijke methoden.¹⁾

De 11 mm lange spleet van de spectrograaf werd in een ongestoord gebied in het centrum van het zonsbeeld geplaatst; dit werd opzettelijk eenigszins onscherp ingesteld, om bevrijd te zijn van mogelijke ongelijkmatigheden van verschillende punten der zonneschijf. De platen, waarvan de afmetingen 6,5 bij 18 cm zijn, kunnen elk 4 opnamen bevatten. Meestal werd gewerkt in de 2^e orde van het rooster, waarbij de dispersie 2 Å./mm bedraagt, zoodat één opname een gebied van ruim 300 Å. omvat.

Op de spleet werd steeds een Zeiss-platinaverzwakker met 6 trapjes gelegd, zoodat iedere opname tevens de zwartingsmerken bij de gewenschte golflengte leverde. Deze verzwakker werd in verschillende deelen van het spectrum met monochromator en thermoziuil geijkt. De doorlating bleek van 3656-9000 Å. weinig afhankelijk van de golflengte te zijn. Om interferentie tegen de halfspiegelende laag te vermijden is de verzwakker tusschen twee glazen plaatjes gekit.

De trapjes laten resp. door ongeveer 11, 16, 26, 43, 65 en 100% der opvallende intensiteit. Aan het eind van het onderzoek is de ijking nog eens herhaald, om na te gaan, of de verzwakker misschien beïnvloed was door de veelvuldige, soms urenlange, intense bestraling; de doorlating bleek echter vrijwel onveranderd te zijn.

De platen waren aan de achterkant steeds voorzien van een absorbeerende laag, om reflectie te vermijden. Plaatsoort, belichtingstijd, ontwikkelaar en verdere bijzonderheden worden in Hoofdstuk II voor ieder golflengtegebied afzonderlijk vermeld (§ 5).

De opnamen werden doorgemeten met de microfotometer van MOLL, en de geregistreerde krommen op de bekende wijze

¹⁾ ORNSTEIN, MOLL, BURGER: Objektive Spektralphotometrie (Braunschweig '32).

omgerekend in intensiteitskrommen. In ieder golflengtegebied is een aantal voldoende alleenstaande lijnen van alle mogelijke ROWLANDsterkten uitgekozen; van de bijbehorende intensiteitscurven werd de oppervlakte met behulp van een planimeter bepaald, en gedeeld door de oppervlakte, die de energiekromme van het naburige spectrum beslaat over een breedte van 1 A. Dit quotient noemt men *aequivalente breedte*, omdat het de breedte in A. geeft van een denkbeeldige lijn, waarbij dezelfde hoeveelheid energie door complete uitdooving van een deel van het spectrum is verdwenen.

De ware in de lijn geabsorbeerde energie in erg zou uit de door ons gedefinieerde maat onmiddellijk volgen door vermenigvuldiging met de intensiteit van het continue spectrum ter plaatse. Men heeft deze echter meestal niet noodig: kenmerkend voor een absorptielijn is immers de relatieve verandering, die zij in de aanwezige intensiteit veroorzaakt.

Daar de aequivalente breedten in A. meestal zeer klein zijn, zullen we ze met 1000 vermenigvuldigen, en de intensiteit van FRAUNHOFERlijnen dus steeds uitdrukken in milli-A.

Lijnen van ROWLANDsterkten —1, —2 en —3 zijn in den regel te zwak om op de bovenbeschreven wijze geplanimeerd te worden. Daar men echter veilig mag aannemen, dat het waargenomen profiel van zulke zwakke lijnen bijna uitsluitend door de spectrograaf wordt bepaald, zal het oppervlak der intensiteitskromme een eenduidige functie zijn van de waargenomen intensiteit in het centrum der lijn. Deze functie is grafisch uitgezet voor lijnen, die wel geplanimeerd zijn; de kromme is daarna geëxtrapoleerd — zij moet natuurlijk door de oorsprong gaan, want als de centrale intensiteit nul is, is ook de aequivalente breedte nul. Nu kan bij een waargenomen centrale intensiteit de aequivalente breedte direct worden afgelezen.

Voor sterkere lijnen kan men deze methode niet toepassen, omdat daar de eigen vorm van de lijn een rol gaat spelen.

§ 3. Foutenbronnen.

Achtereenvolgens zullen we de voornaamste foutenbronnen noemen, die bij onze metingen kunnen optreden.

1. *Het verstrooide licht*, dat bij intensiteitsmetingen altijd

gevaarlijk is; het werd zoo goed mogelijk afgeschermd door diafragma's, terwijl straling van ongewenschte golflengten door geschikte filters werd geabsorbeerd.

2. *De spookbeelden van het rooster*, die de lijnen opvullen, zoodat ze minder diep schijnen dan ze in werkelijkheid zijn. De geesten van ons rooster zijn experimenteel met de kwiklamp onderzocht ¹⁾; alle metingen zijn ervoor gecorrigeerd — in de 2e orde bedraagt de correctie 4%.

3. *Het EBERHARD-effect*. De gebruikte platen werden regelmatig op dit effect onderzocht op plaatsen, waar een blank gedeelte onmiddellijk aan groote zwarting grensde. De afwijkingen waren nooit grooter dan 4%. Ontwikkelen met ijzer-oxalaat, door EBERHARD aanbevolen, bleek niet geschikt, daar Ilford-platen hiermee zeer gemakkelijk sluieren. Bovendien is het twijfelachtig, of ijzeroxalaat minder EBERHARD-effect geeft dan andere ontwikkelaars. We hebben er naar gestreefd, steeds matig contrastrijk te ontwikkelen, omdat gebleken is dat het EBERHARD-effect toeneemt met het contrast.

Dat ontwikkel-effecten op onze metingen zeer weinig invloed gehad hebben, blijkt uit de zeer goede evenwijdigheid van zwartingskrommen, die op plaatsen van verschillende zwartingsgradiënt, binnen en buiten de lijn, waren opgenomen. ²⁾

4. *Onzekerheid bij het teekenen van de continue grond*, vooral bij breede lijnen, en in het violet, waar de lijnen dicht opeen liggen. Wij beschouwen dit als een der voornaamste oorzaken van fouten bij metingen van deze soort.

§ 4. C o n t r ô l e - M e t i n g e n .

Door vergelijking van opnamen, waarbij de omstandigheden zooveel mogelijk gevarieerd zijn, is getracht, de gezamenlijke invloed der foutenbronnen te onderzoeken.

a. *Opnamen in verschillende orde van het rooster*. Bij 5200 Å. werden 21 lijnen zoowel in 1e als in 2e orde opgenomen. Stellen we de gemeten aequivalente breedten resp. voor door I_1 en I_2 en de verhouding $\frac{I_1}{I_2}$ door v , dan blijkt de gemiddelde

¹⁾ MINNAERT, Versl. Akad. A'dam, 1923.

²⁾ Volgens WALENKOW, Zs. f. wiss. Phot. 27, 236, 1929, treden EBERHARD-effecten bij spectraalfotografie niet op.

waarde: $\bar{v} = 1,05$. Er is dus een systematisch verschil van 5%. Nemen we dit in aanmerking, door alle waarden I_2 met 1,05 te vermenigvuldigen, dan wordt het gemiddelde der absolute waarden van de nu nog overgebleven toevallige fouten: 7%.

Bij 3900 A. werden 15 lijnen in 2^e en 3^e orde opgenomen. Het resultaat is hier: $\bar{v} = 1,16$, als $v = \frac{I_2}{I_3}$ — De gemiddelde toevallige fout bedraagt 8%.

b. *Opnamen met de vergrootingscamera.*¹⁾ Bij 4500 A. werden 27 lijnen opgenomen met een toestel, dat het spectrum ongeveer 6 maal vergroot. De spectraallijnen worden daardoor 6 maal zoo breed ten opzichte van de onregelmatigheden van de plaat, en ook ontwikkel-effecten worden door de geringe gradatie uitgeschakeld. Noemen we de aldus gevonden aequivalente breedten I_v en vergelijken we die met de vroegere metingen van MINNAERT en VAN ASSENBERG²⁾ (I), dan blijkt: $\bar{v} = 1,05$, als $v = \frac{I_v}{I}$; de gemiddelde toevallige fout bedraagt 18%.

c. *Verschillende wijzen van ontwikkelen.* Bij 5800 A. werden 2 opnamen in 2^e orde gemaakt; de eene is contrastrijk ontwikkeld met adurol (I_a), de andere weinig contrastrijk met rodinal (I_r). Het resultaat der vergelijking van 30 lijnen is: $\bar{v} = 1,08$, als $v = \frac{I_a}{I_r}$; de gemiddelde toevallige fout is 9%.

d. *Onderzoek der zwartingskromme.* Eenige malen werden de zwartingsmerken, behalve op de gewone opname, ook nog aangebracht met zeer wijde spleet en extra verzwakker, bij gelijke belichtingstijd. Zoo zou een mogelijke geringe onevenwijdigheid van de zijanten der spleet moeten blijken, daar deze bij smalle opening veel meer invloed heeft. De zwartingskrommen waren echter steeds identiek, zoodat de spleet zeer goed evenwijdig moet zijn.

Het gebruik van eenzelfde zwartingskromme is steeds beperkt tot een gebied van ten hoogste 100 A. Zwartingskrommen, opgenomen met een interval van 100 à 150 A. liepen slechts zeer weinig uiteen.

¹⁾ ORNSTEIN en MINNAERT, B. A. N. 5, 175, 1930.

²⁾ MINNAERT en VAN ASSENBERG, Zs. f. Ph. 53, 248, 1929.

Meermalen ook werd een lijn gemeten in alle trapjes van eenzelfde opname, dus bij zeer uiteenlopende zwarting. De goede overeenstemming dezer waarden (binnen 10%) gaf vertrouwen in de juistheid der zwartingskromme.

e. *Invloed van het oplossend vermogen van de spectograaf.*

Aan de onder d genoemde opnamen met smalle en breede spleet werd geconstateerd, dat de verkregen waarden voor de aequivalente breedten onafhankelijk zijn van het oplossend vermogen. Dit was ook reeds vroeger door MINNAERT aangetoond. ¹⁾

f. *Wijze van fotometreeren.* Variatie van snelheid, breedte der spleet, enz. van de fotometer binnen zekere grenzen bleek geen invloed te hebben op de resultaten.

g. *Vergelijking van rooster- en prismaspectograaf.* MINNAERT en VAN ASSENBERG vonden ²⁾, dat metingen met behulp van een prismaspectograaf niet systematisch afwijken van die met de roosterspectograaf.

Tenslotte is nog een speciaal onderzoek ingesteld naar de *toevallige* fouten, door een aantal lijnen eenige malen onder *dezelfde* omstandigheden op te nemen. Onderstaand tabelletje geeft hiervan een overzicht.

Aantal	OMSTANDIGHEDEN	Gem. toev. ft.
13	2 opnamen op één plaat, 1e orde	8%
21	2 opnamen op één plaat, 2e orde	9%
13	2 opnamen op twee platen, 2e orde	7%

In de eerste kolom wordt opgegeven het aantal lijnen; iedere lijn is twee maal gemeten onder omstandigheden, die in de tweede kolom worden vermeld. Uit het totale materiaal van 47 lijnen volgt als gemiddelde toevallige fout: 8%.

Het is zeer moeilijk, een conclusie te trekken omtrent de te verwachten fout in de definitieve meetresultaten. Er zijn immers

¹⁾ MINNAERT, Zs. f. Ph. 45, 610, 1927.

²⁾ MINNAERT und VAN ASSENBERG, Zs. f. Ph. 53, 248, 1929.

foutenbronnen, waarvan de invloed quantitatief niet is te schatten (bijv. de onzekerheid in de continue grond). Het lijkt ons echter niet waarschijnlijk, dat de afwijkingen van de *ware* aequivalente breedten grooter zouden zijn dan 20⁰/. Binnen eenzelfde golflengtegebied zijn de systematische foutenbronnen voor alle lijnen vrijwel gelijk, en zullen de *verhoudingen* der aequivalente breedten wellicht op 10⁰/% nauwkeurig zijn.

HOOFDSTUK II.

Metingen.

§ 5. De bewerkte platen.

In tabel I wordt een overzicht gegeven van alle opnamen, die bij de definitieve metingen zijn gebruikt.

TABEL I.
Overzicht der bewerkte platen

λ	Orde	Plaat	Spleet éénh. 0,01 mm	Belichtings- tijd in sec.	Ontw.	Datum	Opm.
3900	II	<i>Isp.</i>	5	10 ; 20	R	2—11—'29	
	III	<i>Isp.</i>	3	90 ; 270	R	2—10—'30	Z
4500	II	<i>Ip.</i>	5	360	R	3— 2—'30	V
	II	<i>Ip.</i>	5	420	R	3— 2—'30	V
5200	I	<i>Ip.</i>	3	90	R	1—10—'29	
	II	<i>Ip.</i>	5	120	R	21—10—'29	
5700	II	<i>Ip.</i>	4	390	R	27— 3—'31	Z
	II	<i>Ip.</i>	5	300	A	21— 5—'31	
5900	II	<i>Ip.</i>	5	300	R	27— 3—'31	Z
	II	<i>Ip.</i>	5	300	A	21— 5—'31	
6650	II	<i>Ip.</i>	5	600	A	13—10—'31	Z
	II	<i>Ip.</i>	4	600	R	22—10—'31	Z
7750	II	<i>Ke.r.</i>	5	600	R	28— 9—'33	
8600	II	<i>Ki.r.</i>	5	2700	R	19—10—'33	

In de kolommen wordt achtereenvolgens opgegeven:

1. het midden van het betreffende golflengtegebied;
2. de orde van het rooster, waarin de opname geschiedde;
3. de plaatsoort, aangeduid door de volgende afkortingen:
I sp. = Ilford special rapid plate;
I p. = Ilford rapid proces panchromatic plate;
Ke.r. = Eastman Kodak extreme red plate;
Ki.r. = Eastman Kodak infra red plate, gecencibiliseerd met ammonia;
4. de gebruikte spleetbreedte in honderdste mm;

5. de belichtingstijd in sec — bij $\lambda = 3900$, waar de gevoeligheid der plaat snel verloopt, zijn van iedere plaat 2 opnamen met verschillende belichtingstijd, ieder met eigen zwartingskromme, gebruikt, om steeds gunstige zwarting te hebben;

6. de gebruikte ontwikkelaar:

R = Rodinal (matige contrasten);

A = Adurol (zeer contrastrijk);

7. de datum der opname;

8. bijzonderheden der betreffende opname:

Z = Zwartingsmerken aangebracht met wijde spleet en verzwakker (zie § 4);

V = opname met vergrootingscamera (zie § 4).

§ 6. Aequivalente breedten van 462 FRAUNHOFER lijnen (Tabel II t/m VIII).

Zoals uit § 5 blijkt, zijn uit het zonnenspectrum 8 golflengtegebieden uitgekozen. In elk dezer gebieden is, binnen een afstand van 100 à 150 Å., een zoo groot mogelijk aantal voldoende alleenstaande lijnen van alle mogelijke ROWLANDsterkten uitgezocht. Het bleek later noodzakelijk (zie § 8, fig. 1), het gebied in het geel uitgebreider te onderzoeken: daarom werden tusschen $\lambda = 5550$ en $\lambda = 6050$ Å. practisch alle in aanmerking komende lijnen gemeten.

De tabellen II t/m VIII in deze § bevatten resp. de metingen in de golflengtegebieden vanaf het ultra-violet ($\lambda = 3900$ Å.) t/m het infra-rood ($\lambda = 8600$ Å.).

In de kolommen wordt van de gemeten lijnen achtereenvolgens opgegeven:

1. de golflengte in Å., ontleend aan de R. R. T.; een * duidt aan, dat de lijn in de schaduw staat van een andere, zeer sterke FRAUNHOFERlijn;

2. en 3. het betreffende element, resp. volgens de R. R. T. en volgens MOORE¹⁾; de derde kolom is alleen ingevuld, indien MOORE's opgave afwijkt van de R. R. T., terwijl een streepje

¹⁾ CHARLOTTE E. MOORE: Atomic Lines in the Sun-Spot Spectrum (Princeton, 1933).

in deze kolom beteekent, dat MOORE geen identificatie geeft voor een lijn, die in de R. R. T. wel geïdentificeerd was. De beteekenis der symbolen blijkt uit de volgende voorbeelden:

- Fe, Co coïncidentie voor beide elementen van dezelfde orde;
- $Fe Co$ coïncidentie beter voor het eerstgenoemde element;
- $Fe-Co$ de Fe -lijn valt op de violette kant van de zonnelyn, de Co -lijn op de roode kant;
- $Fe-$ de zonnelyn is te sterk om alleen aan Fe te worden toegeschreven, waarschijnlijk is er een ongeïdentificeerde component aan de roode kant;
- Fe, \underline{Co} het onderstreepte element overheerscht;
- $Ti \underline{\underline{Cr}}$ het dubbel onderstreepte element overheerscht zeer sterk;
- $Fe?$ identificatie niet geheel zeker;
- Fe^+ ionisatie-toestand onzeker;
- $Ti (Co)$ de lijn is hoofdzakelijk te wijten aan Ti ; uit de studie der multipletten volgt echter, dat er nog een zwakke Co -lijn met ongeveer dezelfde golflengte moet zijn, die echter door de sterke Ti -lijn volkomen wordt overdekt;

4. de multiplet-identificatie, ontleend aan MOORE ¹⁾; indien bij een lijn meerdere elementen zijn opgegeven, wordt de multiplet-identificatie alleen vermeld voor het overheerschende element;

5. en 6. de ROWLANDintensiteit, resp. volgens de R. R. T. en volgens MOORE, indien afwijkend van eerstgenoemde opgave. De beteekenis der symbolen is hier:

- N lijn is wazig.
- d lijn is dubbel.
- d ? dubbelheid onzeker.
- W lijn heeft sterke vleugels.

7. de gemeten aequivalente breedte in milli-A.

¹⁾ CHARLOTTE E. MOORE: A Multiplet-Table of Astrophysical Interest. (Princeton, 1933)

TABEL II.

Aequivalente breedte (I) van 62 FRAUNHOFERlijnen bij 3900 A.

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
3856,383	Fe		$a^5D_3 - z^5D^0_2$	8		545
59,924	Fe		$a^5D_4 - z^5D^0_4$	20		1070
85,521	Fe		$a^3P_1 - x^3D^0_2$	4		73
86,296	Fe — La ⁺		$a^5D_3 - z^5D^0_3$	15		832
86,806	Cr		$a^5D_3 - z^5D^0_4$	3		24
87,061	Fe		$a^5F_4 - y^5D^0_4$	7		273
90,851	Fe			3		77
91,200				1N		57
91,513				1N		43
91,936	Fe			4		105
92,593	— Mn?		$a^4P_{5/2} - v^6P^0_{5/2}$	2		44
94,495				1N		40
96,783	— Ce ⁺			0N	0	16
97,462	Fe —		$b^3G_5 - 34^0_6$	2	4	120
99,721	Fe		$a^5D_2 - z^5D^0_2$	8		426
3900,543	Ti ⁺ Fe		$a^2G_{9/2} - z^2G^0_{9/2}$	5		202
01,600		CH -		2		74
02,264	V		$a^4F_{9/2} - y^4F^0_{9/2}$	3		85
02,958	Cr Fe — Mo	Cr Fe (Mo)	$a^3F_3 - y^3D^0_3$	10		470
05,534	Si		$3p^1S_0 - 4s^1P^0_1$	12	8	662
06,492	Fe		$a^5D_1 - z^5D^0_1$	10		260
07,480	Fe — Sc	Fe — Sc	$a^2D_{3/2} - y^2F^0_{5/2}$	3d?	3	77
08,764	Cr		$a^5D_3 - z^5D^0_3$	4		110
09,287	— Ce ⁺	—		0	0N	23
12,296	Ni?	— Ni	$z^3F^0_2 - f^3G_3$	2		76
12,983	Ni		$a^3D_3 - z^5D^0_4$	2		57
14,015				1N		60
14,956	Cr		$b^5D_1 - s^5P^0_2$	0N		10
15,220	Fe			1		46
16,739	Fe			5	4	116
17,593	— Cr		$b^5D_3 - s^5P^0_2$	0		23
20,271	Fe		$a^5D_0 - z^5D^0_1$	10		281
22,925	Fe		$a^5D_3 - z^5D^0_4$	12d?		315
24,535	Ti	Ti (Co)	$a^3F_3 - y^3D^0_3$	4		89
24,792				—1		4
25,016				—1N		4

TABEL II (vervolg).

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
3925,211	<i>Fe</i> — <i>V</i>	<i>Fe</i> — <i>V</i>	$z^5D^0_0 - 2_1$	4	3	84
33,684	<i>Ca</i> ⁺ [=K]	<i>Ca</i> ⁺ $\frac{(Sc)(Fe)(Co)}{(Zr^+)(Zr^+)(V)}$	$4^2S_{1/2} - 4^2P^0_{3/2}$	200	200 W	15900
37,339*	<i>Fe</i>		$a^3G_5 - z^3H^0_4$	3		40
40,043*	<i>Fe</i>			2		27
40,892*	<i>Fe</i> — <i>Co</i>		$a^5F_3 - y^5D^0_4$	5		102
41,498*	<i>Cr Mo</i> ⁺ <i>Nd</i> ⁺	<i>Cr (Mo</i> ⁺ <i>)</i>	$a^5D_4 - z^5D^0_3$	3		65
44,018	<i>Al</i>		$3^2P^0_{1/2} - 4^2S_{1/2}$	15		384
46,461				—1		5
46,555				9		9
46,662	<i>Co</i> ?	<i>Co</i> —	$a^2D_{5/2} - 8^0$	0		12
47,004	<i>Fe</i>		$z^5D^0_4 - 13_4$	3	4	97
48,111	<i>Fe</i>		$z^5D^0_3 - 8_2$	5		110
48,284				1		39
48,476	<i>Fe</i>		$z^5D^0_4 - 14_3$	—1N		5
49,963	<i>Fe</i>		$a^5P_3 - x^5P^0_2$	5		118
51,966	<i>V</i> ⁺ <i>Mn</i>	<i>V</i> ⁺	$a^3P_2 - y^3D^0_3$	2		59
53,505	— <i>Pr</i> ⁺ ?			1	2	43
53,865	<i>Fe</i> —			3		52
54,544	<i>Ni</i> —		$z^3F^0_4 - h^3F_4$	2		20
54,721	<i>Fe</i>			1	2	30
55,022				—2N		6
55,347	— <i>Ce</i> ⁺ <i>Fe</i>	<i>Fe</i>	$z^5D^0_1 - 57$	5	4	117
55,768	<i>Fe</i>		$b^3F_4 - x^5G^0_3$	0		8
55,965	<i>Fe</i>			3		62
57,043	<i>Fe</i> — <i>Ca</i>			7d?	7	124
68,494	<i>Ca</i> ⁺ [=H]		$4^2S_{1/2} - 4^2P^0_{1/2}$	150	150 W	11000 ¹⁾

¹⁾ Berekend uit de aequivalente breedte der K-lijn, door deze te deelen door $\sqrt{2}$.

TABEL III.

Aequivalente breedte (I) van 57 FRAUNHOFERlijnen bij $\lambda = 4500 \text{ \AA}$.

λ (R.R.T.)	EL. (R.R.T.)	EL. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
4383,559	Fe		$a^3F_4 - z^5G^0_5$	15		1044
4404,763	Fe		$a^3F_3 - z^5G^0_4$	10		649
15,137	Fe		$a^3F_2 - z^5G^0_3$	8		405
42,351	Fe		$a^5P_2 - x^5D^0_2$	6		181
43,814	Ti+		$a^2D_{3/2} - z^2F^0_{5/2}$	5		155
47,730	Fe		$a^5P_1 - x^5D^0_1$	6		181
56,335	Fe		$2M_4 - z^3H^0_5$	1		49
56,629	Ca	Ca (Ti+)	$4^3P^0_2 - 4^3D_1$	2		75
57,044	Mn		$z^6P^0_{5/2} - e^6D_{3/2}$	0	1	32
59,757	Cr—V		$a^6D_{7/2} - z^6P^0_{5/2}$	1		42
61,662	Fe		$a^5D_2 - z^7F^0_3$	4		136
65,816	Ti		$a^5P_2 - y^5P^0_3$	1		31
66,942	Fe			1		59
68,502	Ti+		$a^2G_{3/2} - z^2F^0_{7/2}$	5		140
70,140	Mn		$a^4D_{3/2} - z^4D^0_{3/2}$	1		53
70,489	Ni		$z^5D^0_2 - e^5F_3$	2		74
70,860	—Ti+		$a^4P_{3/2} - z^2D^0_{5/2}$	1		57
71,246	Ce+ Ti	Ti	$a^5P_1 - y^5P^0_2$	0		34
75,309	—Cr		$z^7P^0_2 - f^7S_3$	—1		12
78,027				0		18
80,590	Ni—Ti	Ni Ti	$a^5P_2 - y^5P^0_2$	0N		32
80,828				0		32
84,229	Fe	Fe (W)	$z^5P^0_3 - f^5D_4$	4		92
85,685	Fe		$z^5P^0_1 - 2_1$	3		78
89,750	Fe		$a^5D_0 - z^7F^0_1$	4		85
90,091	Fe Mn	Fe Mn	$3M_3 - 2O^0_1$	3N		74
91,410	Fe+		$b^4F_{3/2} - z^4F^0_{3/2}$	2		79
92,690	Fe			1		25
94,575	Fe		$a^5P_2 - x^5D^0_3$	6		191
96,862	Cr	Cr (V)	$a^5S_2 - y^5P^0_3$	3		128
97,682	—Na?	—Ti	$z^5F^0_4 - f^5F^0_4 \S$	0N		22
4500,644				—1		13
01,280	Ti+		$a^2G_{7/2} - z^2F^0_{5/2}$	5		151
02,226	Mn	Mn (Cr)	$a^4D_{5/2} - z^4D_{7/2}$	2		52
04,840	Fe		$z^5D^0_2 - e^3F_3$	1		41
08,691				0		13

TABEL III (vervolg).

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
4509,744				1		35
11,902	<i>Cr</i>			1		45
15,345	<i>Fe</i> ⁺		$b\ ^4F_{5/2} - z\ ^4F_{5/2}^0$	3		88
16,273		<i>Fe</i>	$z\ ^5P_3^0 - 16_4$	0N	1	16
16,662	<i>Co</i> ?	—		0	-1	20
17,157		<i>Co</i> —	$z\ ^6F_{1/2}^0 - e\ ^6F_{3/2}^0 S$	0		30
17,537	<i>Fe</i>		$4\ M_2 - y\ ^3P_1^0$	3		68
18,034	<i>Ti</i>		$a\ ^3H_6 - z\ ^1I_5^0$	3		61
18,344				1		48
23,409	<i>Fe</i>		$z\ ^5P_2^0 - 7_2$	1		33
27,789	<i>Fe</i> Y	<i>Fe</i> (Y)		0		17
28,629	<i>Fe</i>		$a\ ^5P_3 - x\ ^5D_4^0$	8		260
31,634	<i>Fe</i>		$z\ ^5D_4^0 - e\ ^3F_4$	2		60
34,789	<i>Ti</i>		$a\ ^5F_4 - y\ ^5F_4^0$	4		110
45,964	<i>Cr</i>		$a\ ^5S_2 - y\ ^5P_2^0$	3		84
47,856	<i>Fe</i>	<i>Fe</i> (Ti)		3		92
48,775	<i>Ti</i>		$a\ ^5F_3 - y\ ^5F_2^0$	2		61
50,776	<i>Fe</i>			2		68
51,231	<i>Ni</i>		$y\ ^3F_2^0 - f\ ^1F_3$	0		16
54,038	<i>Ba</i> ⁺	<i>Ba</i> ⁺ (<i>Zr</i> ⁺)	$6\ ^2S_{1/2} - 6\ ^2P_{3/2}^0$	8		175
4602,951	<i>Fe</i>		$a\ ^3F_4 - y\ ^5F_5^0$	6		111

TABEL IV.

Aequivalente breedte (I) van 47 FRAUNHOFERlijnen bij $\lambda = 5200$ A.

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
5154,077	Ti+		$b^2D_{3/2} - z^2D_{5/2}^0$	2		86
55,134	Ni	— Ni	$z^1D_2^0 - e^3F_2$	1		50
55,773	Ni		$z^1D_2^0 - e^1F_3$	2		83
59,065	Fe			2		82
62,283	Fe		$y^5F_5^0 - 47$	5		190
65,417	Fe			2		111
66,286	Fe		$a^5D_4 - z^7D_5^0$	3		137
67,330	Mg		$3^3P_0^0 - 4^3S_1$	15		600
71,612	Fe		$a^3F_4 - z^3F_4^0$	6		164
72,700	Mg		$3^3P_1^0 - 4^3S_1$	20		1140
73,751	Ti		$a^3F_2 - z^3F_2^0$	2		70
76,567	Ni		$z^1D_2^0 - f^1D_2$	1		59
80,071	Fe			1		48
83,621	Mg	Mg(Ti+)(La+)	$3^3P_2^0 - 4^3S_1$	30		1500
85,910	Ti+		$b^2G_{7/2} - z^2G_{7/2}^0$	2		64
87,919	Fe			1		59
91,467	Fe Nd+	Fe (Nd+)	$z^7P_2^0 - e^7D_1$	4		242
92,355	Fe		$z^7P_3^0 - e^7D_3$	5		276
92,980	Ti		$a^3F_3 - z^3F_3^0$	2		96
94,951	Fe		$a^3F_3 - z^3F_3^0$	4		142
98,718	Fe		$a^5P_1 - y^5P_2^0$	3		98
5206,046	Cr		$a^5S_2 - z^5P_2^0$	5		244
10,394	Ti		$a^3F_4 - z^3F_4^0$	3		89
11,537	Fe	Fe Ti+		—1	0	29
13,353				—2		6
14,620		Cr? —		—1		12
15,190	Fe		$z^5D_2^0 - e^5D_1$	3		156
16,285	Fe		$a^3F_2 - z^3F_2^0$	3		135
17,398	Fe		$z^5D_4^0 - e^5D_3$	3		115
18,211	Cu? Fe	Cu	$4^2P_{3/2} - 4^2D_{5/2}$	1		57
21,770	Cr		$b^3P_2 - w^5D_3^0$	0		24
23,193	Fe			0		26
25,535	Fe		$a^5D_1 - z^7D_1^0$	2		68
29,862	Fe		$z^5D_1^0 - e^5D_0$	4		123
32,954	Fe		$z^7P_4^0 - e^7D_5$	7		323
34,632	Fe+		$a^4G_{7/2} - z^4F_{5/2}^0$	2		92

TABEL IV (vervolg).

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
5239,825	Sc+		$a^1S_0 - z^1P^0_1$	1		55
42,501	Fe			2	3	93
43,785	Fe		$y^5F^0_3 - 37_3$	1		66
47,060	Fe		$a^5D_2 - z^7D^0_3$	1		64
47,576	Cr		$a^5D_0 - z^5P^0_1$	2	3	77
50,656	Fe		$a^5P_2 - y^5P^0_3$	3		101
53,470	Fe		$z^5D^0_1 - e^5D_1$	2		82
61,710	Ca	Ca (Cr)	$3^3D_1 - dp^3P^0_1$	3		109
63,316	Fe		$z^5D^0_2 - e^5D_2$	4		138
66,565	Fe		$z^7P^0_3 - e^7D_4$	6		242
69,552	Fe		$a^5F_5 - z^5D^0_4$	8d?		429

TABEL V.

Aequivalente breedte (I) van 202 FRAUNHOFERlijnen tusschen
 $\lambda = 5565$ en 6027 \AA .

λ (R.R.T.)	El (R.R.T.)	El (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in mili A.
5565,715	Fe		$y^3F^0_3 - f^3D_2$	3		108
66,088				-1	0	23
67,402	Fe		$b^3F_2 - y^3D^0_1$	2		73
68,872		- Cr	$b^5D_2 - x^7P^0_3$	-1		15
69,633	Fe		$z^5F^0_2 - e^5D_1$	6		194
72,853	Fe		$z^5F^0_3 - e^5D_2$	6	7	260
76,101	Fe		$z^5F^0_1 - e^5D_0$	4		127
77,035				-1		19
78,731	Ni		$b^1D_2 - z^1D^0_2$	1		57
81,981	Ca	Ca (Y)	$3^3D_2 - dp^3D^0_3$	4		98
84,775	Fe	Fe (V)		0		41
86,773	Fe		{ $z^3P^0_1 - f^5D_0$ $z^5F^0_4 - e^5D_3$	7		240
87,583	Fe			0		46
87,870	Ni		$a^3P_2 - y^3D^0_3$	1		67
88,766	Ca		$3^3D_3 - dp^3D^0_3$	6		175
89,368	Ni		$z^1D^0_2 - f^3D_2$	0		37
90,128	Ca		$3^3D_1 - dp^3D^0_2$	3		105
93,748	Ni		$z^1D^0_2 - e^3F_3$	0		50
5601,288	Ca		$3^3D_3 - dp^3D^0_2$	3		121
03,779	-(C-)	—		-1	0	22
07,673		Fe	$y^5D^0_3 - 10_1$	-1	0	14
08,982		Fe	$z^3P^0_2 - f^5D_3$	-1		11
14,284				-1N		19
14,784	Ni		$y^3D^0_3 - f^3F_3$	0	1	48
15,661	Fe		$z^5F^0_5 - e^5D_4$	6		291
18,645	Fe		$z^3P^0_2 - e^3D_2$	1		53
19,611	Fe		$z^3G^0_5 - 48$	0		43
20,500	Fe		$y^5D^0_3 - e^3D_3$	0		47
24,033	Fe			1		59
24,559	Fe	Fe V	$z^5F^0_2 - e^5D_2$	4		152
25,331	Ni?	Ni	$z^1P^0_1 - f^1D_2$	0	1	45
25,691		-Nd+?		-1	-1N	30
27,646	V		$a^4D_{7/2} - y^4D^0_{7/2}$	-1		26
28,358	Ni		$z^1P^0_1 - e^5F_1$	-1		18

TABEL V (vervolg).

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
5628,654	Cr			-1		15
33,956	Fe			3		75
35,834	Fe			1		36
36,708	Fe			0		27
37,126	Ni		$z^1P^0_1 - f^3D_1$	1		36
37,417	Fe			1		49
38,274	Fe		$y^5F^0_4 - f^5D_3$	3		80
40,324				0		25
40,992	Sc+		$a^3P_1 - z^3P^0_2$	1		46
41,450	Fe		$y^5F^0_3 - f^5D_2$	2		75
41,898	Ni?—		$y^3F^0_3 - e^1F_3$	0		34
42,391	Cr		$z^5F^0_4 - e^5D_4$	-1		15
43,088	Ni		$z^1G^0_4 - f^3F_3$	0		19
45,621	Si		$4s^3P^0_1 - 5p^3P_2$	1		40
46,690				-1		14
47,243	Co		$a^2P_{3/2} - y^2D^{05/2}$	-1		15
48,289				-2		9
48,581	Ti		$z^3D^0_3 - e^3F_4$	-1		14
49,090				-1		13
49,684	Ni Fe			0d	1 d	40
49,999	Fe			1		41
50,697	Fe			1		46
51,477	Fe		$z^3G^0_3 - 40_3$	0		27
52,330	Fe		$z^3P^0_1 - f^5D_2$	1		30
53,877	Fe			1		44
55,186	Fe			1		68
55,502	Fe			2		84
57,883	Sc+		$a^3P_2 - z^3P^0_2$	2		78
59,605				0		27
61,358	Fe		$z^3P^0_1 - f^5D_0$	0		27
62,527	Fe		$y^5F^0_5 - f^5D_4$	4		108
62,942	Ti Fe — Y+	Ti Fe Y+		1		60
64,012	Ni Cr	Ni Cr		1N		43
65,566	Si		$4s^3P^0_0 - 5p^3P_1$	1N		42
67,157	Sc+		$a^3P_1 - z^3P^0_1$	0		41
69,043	Sc+			1		41
70,859	V			0		24
75,437	Ti—		$z^5D^0_3 - e^5F_4$	2N		66

TABEL V (vervolg).

λ (R.R.T.)	EL. (R.R.T.)	EL. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
5677,705				-1		9
78,407	Fe	Fe ?	$z^3D^0_3 - e^3F_2$	-2		12
79,034	Fe		$y^3F^0_2 - f^3D_2$	3		70
82,211	Ni		$y^3F^0_3 - e^1G_4$	2		60
82,650	Na		$3^2P^0_{1/2} - 4^2D_{3/2}$	5		127
84,201	Sc ⁺		$a^3P_2 - z^3P^0_1$	1		43
84,496	Si			3		67
86,543	Fe			3	4	81
88,220	Na		$3^2P^0_{3/2} - 4^2D$	6		135
90,435	Si		$4s^3P^0_1 - 5p^3P_1$	3		58
91,508	Fe Ni	Fe Ni	$y^5F^0_1 - f^5D_0$	2		45
93,653	Fe			3		51
94,994	Ni		$z^1P^0_1 - e^1P_1$	2		48
5701,111	Si		$4s^3P^0_1 - 5p^3P_1$	1N		42
01,559	Fe		$b^3F_4 - y^3D^0_3$	4		97
02,331	Cr			0		27
03,590	V		$a^4D_{3/2} - y^4F^0_{5/2}$	1		34
04,748	Fe			0		22
05,476	Fe		$y^5F^0_1 - f^5D_1$	1		49
08,408	Si		$4s^3P^0_2 - 5p^3P_2$	3N		80
11,098	Mg		$3^1P^0_1 - 5^1S_0$	6		120
11,887	Fe—Ni	Fe Ni (Ti)	$y^5F^0_2 - f^5D_2$	3	4	92
12,141	Fe		$z^5F^0_2 - e^5D_3$	2		58
15,097	Ni—Fe Ti		$y^3F^0_4 - f^3F_4$	5		78
17,844	Fe		$z^3P^0_0 - e^3D_1$	4		66
39,486	Ti		$a^3H_5 - y^3H^0_5$	0		7
39,988	Ti		$a^3H_4 - y^3H^0_4$	0		10
41,858	Fe		$y^5F^0_3 - e^3D_2$	2		34
42,972				0		17
43,943				-1		6
48,364	Ni		$b^1D_2 - z^3D^0_1$	2		27
52,043	Fe		$y^3F^0_4 - e^3G_4$	4		62
53,135	Fe		$z^3P^0_1 - e^3D_2$	5		92
53,649	—Cr	—		1N	2N	51
54,669	Ni		$a^3P_2 - z^1P^0_1$	5		80
56,831	Fe?	Fe—		2		32
60,362	Fe			1		27
60,843	Ni		$y^3F^0_3 - f^3F_4$	2		39

TABEL V (vervolg).

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
5762,426	Fe			1		33
71,609	Cr?	— Cr?		—1		10
72,152	Si		$4s^3P_0 - 5p^3D_1?$	3		54
74,039	Ti		$y^5G_4 - f^5H_5$	0		13
75,091	Fe		$y^5F_4 - f^5D_4$	4		66
78,466	Fe		$b^3F_3 - y^3D_3^0$	1		22
81,190	Cr		$b^5D_4 - y^5D_3^0$	0		20
83,077	Cr			2		32
83,870	Cr			3		45
84,670	Fe		$z^5F_3 - e^5D_4$	1		33
84,980	Cr			2		42
85,289	Fe		$y^3F_4^0 - 6I_3$	3		55
85,739	Cr	Ti <u>Cr</u>		1		42
87,024	Cr		$b^5D_2 - y^5D_3^0$	—1		11
87,930	Cr			4		50
93,083	Si		$4s^3P_1 - 5p^3D_2?$	3		49
93,926	Fe		$y^5F_4^0 - e^3D_3$	2		35
5805,228	Ni		$y^3F_2^0 - e^1F_3$	4		39
06,736	Fe		$y^3F_3^0 - e^3G_3$	5		56
09,228	Fe			4		51
09,878				—2N		2
10,798				—1		6
11,927	Fe			0		14
14,016	Ti	—		—1		6
14,819	Fe		$y^5F_2^0 - e^3D_2$	1		21
15,229	Fe?	Fe? —		0		9
15,658				—1	—2	5
15,874				—2		2
16,384	Fe			5		81
17,087	—V	V—		0		14
27,886	Fe		$z^5D_1^0 - e^1D_2$	0		10
31,610	Ni		$\left\{ \begin{array}{l} y^3D_2^0 - f^3F_3? \\ y^3F_2^0 - f^1D_2 \end{array} \right.$	1		28
34,040	Fe		$b^3F_2 - y^3D_3^0$	0		22
35,114				0		14
35,434				—1		8
36,779				—2		3
37,214				—2		3

TABEL V (vervolg).

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
5837,714	Fe			0		10
38,385	Fe		$z^3F^0_3 - e^3F_2$	1		20
43,227	Cr?	Cr	$b^5D_2 - y^5D^0_2$	-1		7
45,974	Ce ⁺			-1		5
46,276	V?	-V		-1		5
47,010	Ni		$b^1D_2 - z^3F^0_2$	1		21
48,126	Fe		$z^5D^0_2 - e^7D_3$	3		40
52,232	Fe		$y^3D^0_4 - 40_3$	3		46
53,691	Ba ⁺		$5^2D_{3/2} - 6^2P^{0}_{3/2}$	5		67
55,090	Fe			1		21
56,100	Fe			2		36
57,462	Ca		$4^1P^0_1 - p^2^1D_2$	8		173
58,790				0		13
59,600	Fe		$y^3F^0_4 - 55_3$	5		83
62,371	Fe		$y^3F^0_4 - e^3G_5$	6		95
63,956	Ni?	Ni? Cr		-2		3
66,464	Ti		$a^3P_2 - y^3D^0_3$	3		48
67,091				-1N		5
67,573	Ca		$4^1P^0_1 - p^2^1S_0$	2		32
89,977	Na [=D ₂]		$3^2S_{1/2} - 3^2P^{0}_{3/2}$	30		700
95,944	Na [=D ₁]		$3^2S_{1/2} - 3^2P^{0}_{1/2}$	20		550
5902,482	Fe			0		16
05,684	Fe			4		64
06,844				0		17
16,262	Fe	Fe—	$a^3H_4 - y^3F^0_4$	3		56
27,800	Fe			2	3	43
29,686	Fe	—		2		44
30,194	Fe		$y^3F^0_2 - e^3G_3$	6		94
34,669	Fe		$z^3D^0_2 - e^3F_3$	5		81
43,602	Fe		$\left\{ \begin{array}{l} a^5P_2 - y^5F^0_2 \\ y^5F^0_3 - 17_3 \end{array} \right.$	-1	0	9
48,552	Si		$4s^1P^0_1 - 5p^1S_0?$	6		98
52,730	Fe		$z^3F^0_2 - e^3F_2$	4		66
53,174	Ti		$a^3G_5 - z^3H^0_6$	1	2	30
56,709	Fe		$a^5F_5 - z^7P^0_4$	4		51
65,840	Ti		$a^3G_4 - z^3H^0_5$	2		30
74,279				0		12
75,356	Fe			3		54

TABEL V (vervolg).

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
5976,791	<i>Fe</i>		$z^3F^0_3 - e^3F_3$	4		75
78,554	<i>Ti</i>		$a^3G_3 - z^3H^0_4$	1	2	24
83,693	<i>Fe</i>		$y^3F^0_4 - 37_3$	5		78
84,830	<i>Fe</i>		$y^3D^0_3 - e^3P_2$	6		97
87,075	<i>Fe</i>		$y^3D^0_{\frac{3}{2}} - e^3P_1$	5		80
91,383				2		36
96,745	<i>Ni</i>		$y^3D^0_2 - e^3F_2$	1	2	21
6003,027	<i>Fe</i>		$z^3F^0_4 - e^3F_4$	6		90
05,556	<i>Fe</i>			1		24
07,322	<i>Ni</i>		$b^1D_2 - z^3F^0_2$	1		25
07,973	<i>Fe</i>		$y^3F^0_2 - 50_2$	4		63
08,572	<i>Fe</i>		$z^3D^0_3 - e^3F_4$	6		96
12,238	<i>Ni</i>			1		23
13,503	<i>Mn</i>		$z^6P^{0\frac{3}{2}} - e^6S_{5/2}$	6		90
16,653	<i>Mn</i>		$z^6P^{0\frac{5}{2}} - e^6S_{5/2}$	6		103
21,808	<i>Mn</i>	<i>Mn (Fe)</i>	$z^6P^{0\frac{7}{2}} - e^6S_{5/2}$	6		104
24,073	<i>Fe</i>		$y^3F^0_4 - 39_4$	7		125
27,064	<i>Fe</i>			4		72

TABEL VI.

Aequivalente breedte (I) van 42 FRAUNHOFERlijnen bij $\lambda = 6650 \text{ \AA}$.

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (MOORE)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (MOORE)	I in milli-A.
6569,232	Fe		$y^3D_3 - 37_3$	5	4	93
72,804	Ca	Ca (Cr)	$4^1S_0 - 4^3P_0$	1		30
74,243	Fe		$a^5F_2 - z^7F_0$	1		28
81,226	Fe		$a^3F_4 - z^5F_0$	0		19
87,638				-1N		12
91,349	Fe			-1		9
92,934	Fe		$a^3G_4 - y^3F_0$	6		120
93,982	Fe		$a^3H_5 - z^5G_0$	4		86
97,580	Cr Fe	Fe (Cr)	$y^3D_0 - 63$	1	2	45
98,621	Ni		$y^3D_0 - e^3F_3$	0		24
6604,609	Sc+		$b^1D_2 - z^1D_0$	1		39
06,988		Ti+	$b^2P_{3/2} - z^2D_{3/2}$	-1N		13
08,053	Fe		$a^3P_2 - y^5D_0$	0		18
09,126	Fe			3		75
25,048	Fe		$a^5F_1 - z^7F_0$	0		16
27,569	Fe		$y^3F_4 - f^5D_3$	0	1	28
35,146	Ni		$y^1F_0 - e^1G_4$	0N		29
43,648	Ni		$b^1D_2 - z^3P_0$	5		98
46,975	Fe			-1		9
53,920	Fe?		$y^5D_0 - e^3F_3$	-1		11
67,749	Fe			-1		11
68,409				-2N		6
69,319	Cr?	Cr	$z^5D_0 - e^5D_3$	-2N		6
78,007	Fe		$a^3G_5 - y^3F_4$	5		143
80,164				-2		6
96,041	-Al		$4^2S_{1/2} - 5^2P_{3/2}$	1N		41
98,678	Al		$4^2S_{1/2} - 5^2P_{1/2}$	0		24
6703,585	Fe		$a^3G_3 - y^3F_0$	1		39
04,509	Fe		$y^5D_0 - e^3F_2$	-2		6
05,120	Fe			1		49
10,332	Fe		$a^3F_4 - z^5F_0$	0		12
13,053	Fe?		$y^5P_0 - f^5D_2$	1		33
13,754	Fe		$y^3D_0 - 62$	1		24
15,395	Fe		$y^3F_0 - f^5D_2$	1		32
16,261	Fe			0		18
17,697	Ca		$3^1D_2 - dp^1P_1$	5		120
19,640	Ti?			-2N		14
21,853				2		48
24,694				-2		8
25,373	Fe		$y^5D_0 - e^3F_4$	0		24
26,682	Fe		$y^5P_0 - 2_1$	2		55
29,028	Fe			-1		9

TABEL VII.

Aequivalente breedte (I) van 25 FRAUNHOFERlijnen bij $\lambda = 7750$ A.

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (B. en M.)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (B. en M.)	I in milli-A.
7680,267	<i>Mn</i>			1		82
91,562		O_2, \odot		2 *		120
98,977	<i>K</i>		$4^2S_{1/2} - 4^2P_{1/2}$	5	1	152
7710,367	<i>Fe</i>		$y^5F_4 - e^5F_5$	1	0	75
11,737	<i>Fe+</i>		$b^4D_{7/2} - z^4D_{7/2}^0$	1	0	47
14,309	<i>Ni</i>		$a^3P_2 - z^3P_0^0$	3	2	115
15,577	<i>Ni</i>		$z^5F_3 - e^3D_2$	1		49
23,211	<i>Fe</i>		$a^3P_2 - z^3D_0^0$	1		43
27,616	<i>Ni</i>		$z^3D_3^0 - e^3D_3$	3	2	97
42,722	<i>Fe</i>			2		103
48,284	<i>Fe</i>		$b^3G_5 - y^3F_4$	2		105
48,894	<i>Ni</i>		$z^3D_2^0 - e^3D_2$	2		84
51,117	<i>Fe</i>			0		45
71,954	<i>O</i>	<i>atm.</i>	$3^5S_2^0 - 3^5P_3$	2		78
74,177	<i>O</i>	<i>atm.</i>	$3^5S_2^0 - 3^5P_2$	2		74
75,394	<i>O</i>	<i>atm.</i>	$3^5S_2^0 - 3^5P_1$	1		65
80,567	<i>Fe</i>			3		135
88,933	<i>Ni</i>		$a^3P_1 - z^3P_0^0$	2		95
97,587	<i>Ni</i>		$z^1D_2^0 - e^1D_2$	2		80
99,995				0		51
7807,915	<i>Fe</i>			1		60
32,207	<i>Fe</i>			2		154
36,139				0		44
49,984				1		62
55,392	<i>Fe</i>			0		36

TABEL VIII.

Aequivalente breedte (I) van 27 FRAUNHOFERlijnen bij $\lambda = 8600 \text{ \AA}$.

λ (R.R.T.)	El. (R.R.T.)	El. (B. en M.)	Multipl. (MOORE)	R (R.R.T.)	R (B. en M.)	I in milli-A.
8468,417	<i>Fe Ti</i>			2		123
96,997	<i>Fe</i>			0		38
98,060	<i>Ca+</i>		$3\ ^2D_{3/2} - 4\ ^2P_{3/2}$	12		1180
8501,556				-1		28
02,228				0	<i>0d!</i>	48
14,032	<i>Fe</i>			1		107
15,121	<i>Fe</i>			0		73
26,675	<i>Fe</i>			0		63
36,161				0		37
38,023				-1		20
39,90				-2 <i>d?</i>		24
42,132	<i>Ca+</i>		$3\ ^2D_{5/2} - 4\ ^2P_{3/2}$	16	<i>d!</i>	3440
46,228				-2		26
56,790		<i>Si?</i>		1		135
82,271	<i>Fe</i>			1		72
92,971	<i>Fe</i>			-1		60
95,967				-1	-1 <i>d</i>	43
98,835	<i>Fe</i>	—		-1		63
8610,609				-1		42
11,813	<i>Fe</i>			1		105
13,944				-1		42
16,280				0		49
21,617	<i>Fe</i>			1		71
48,472				2		159
62,170	<i>Ca+</i>		$3\ ^2D_{3/2} - 4\ ^2P_{1/2}$	15		2640
74,757	<i>Fe</i>			1		126
88,641	<i>Fe</i>			2	3	248

§ 7. Vergelijking met metingen van andere onderzoekers. (Tabel IX en X).

Systematische metingen van de aequivalente breedten van FRAUNHOFERlijnen zijn, behalve te Utrecht, ook uitgevoerd door RIGHINI te Arcetri¹⁾, en door WOOLLEY te Cambridge²⁾.

1. RIGHINI heeft onderzocht het eveneens door ons gemeten Mg-triplet 5167, 5172, 5183 en verder 87 lijnen, gelegen tusschen 5290 en 5470 Å., dus juist tusschen twee der door ons uitgekozen golflengtegebieden. — Nu waren reeds in 1930 door ons een aantal multipletlijnen tusschen 5280 en 5500 Å. gemeten, en gedeeltelijk gepubliceerd³⁾; dit aantal (15) was echter te gering om voor de in het volgende hoofdstuk uit te voeren ijking der ROWLANDSchaal te kunnen dienen. Deze lijnen zijn dan ook niet opgenomen in de tabellen II t/m VIII, maar kunnen nu toch dienst doen om de metingen van Utrecht en Arcetri met elkaar te vergelijken.

In Tabel IX worden van de betreffende lijnen achtereenvolgens opgegeven: de golflengte λ , de ROWLANDsterkte R, de aequivalente breedte resp. volgens MULDERs en volgens RIGHINI, en de verhouding dezer twee waarden; het gemiddelde is 0,90.

De overeenstemming is vrij goed; er blijkt echter een systematisch verschil te zijn van gemiddeld ca. 10%, wat door RIGHINI zelf ook reeds is opgemerkt.

De oorzaak hiervan is zeer moeilijk na te gaan. De meetmethode was in beide gevallen volkomen dezelfde (zie § 2). RIGHINI heeft geen correctie aangebracht voor de spookbeelden van het rooster, maar hij heeft mij medegedeeld, dat deze zeer zwak zijn; bovendien zou zoo'n correctie RIGHINI's waarden nog vergrooten (zie § 3).

Verder heeft hij platen gebruikt, die niet voorzien waren van een antihalo-laag. Het is mogelijk dat zijn resultaten hierdoor beïnvloed zijn.

¹⁾ RIGHINI, *Osserv. e Mem. del R. Osserv. Astrof. di Arcetri*, 1931, blz. 31; id. 1933, blz. 59.

²⁾ WOOLLEY, *Annals of the Solar Physics Obs.*, Cambridge, Vol. III, Part. II, 1933, blz. 79.

³⁾ MINNAERT und MULDERs, *Zs. f. Astrophys.* 1, 192, 1930.

TABEL IX.

Vergelijking der metingen te Arcetri en te Utrecht

λ	R	I (MULD.)	I (RIGH.)	$\frac{I_{MULD.}}{I_{RIGH.}}$
5171,612	6	164	160	1,03
72,700	20	1140	1380	0,83
73,751	2	70	74	0,94
83,621	30	1500	1580	0,95
5307,371	3	103	108	0,95
24,193	7	272	348	0,78
28,053	8d?	325	401	0,81
71,503	7	288	342	0,84
97,143	7d?	220	274	0,80
5432,550	1Nd?	50	56	0,89
32,956	2	92	91	1,01
34,536	5	226	218	1,04
46,926	6d?	312	291	1,07
63,291	3	138	175	0,79

Wij hebben besloten, het materiaal van RIGHINI, met inachtneming van een factor 0,90 in onze ijking op te nemen. (§ 8).

2. De metingen van WOOLLEY zijn eveneens uitgevoerd tusschen twee der door ons uitgekozen golflengtegebieden, nl. tusschen 4000 en 4500 A. Slechts 2 lijnen zijn zoowel door hem als door ons gemeten, zoodat de vergelijking hier zeer onzeker wordt (Tabel X).

TABEL X.

Vergelijking der metingen te Cambridge en te Utrecht

λ	R	I (MULD.)	I (WOOLL.)	$\frac{I_{MULD.}}{I_{WOOLL.}}$
4383,559	15	1044	924	1,13
4456,629	2	75	57	1,32

De eerste lijn (4383) is eigenlijk te sterk om als vergelijkingsobject te kunnen dienen: immers, bijna uitsluitend lijnen waarvan $R < 8$, zijn onderzocht.

Het is dus niet gerechtvaardigd, een conclusie te trekken over het al of niet aanwezig zijn van een systematisch verschil. Terwille van de homogeniteit was het dus helaas niet mogelijk, het rijke materiaal van WOOLLEY (131 lijnen) in onze ijking op te nemen.

In § 9 zal blijken, dat WOOLLEY's ijking van de ROWLAND-schaal bij 4200 A. niet overeenstemt met de onze, die door interpolatie is verkregen, en zullen de mogelijke oorzaken daarvan nader worden besproken.

HOOFDSTUK III.

IJking der Rowlandschaal in aequivalente breedte.

§ 8. Grafische voorstelling der metingen; ijking der ROWLANDSchaal (fig. 1 en Tabel XI).

Met behulp van de in Tabel II t/m VIII opgegeven resultaten kan nu de ROWLANDSchaal in elk der onderzochte golflengtegebieden geijkt worden in aequivalente breedte. Men behoeft daartoe slechts voor iedere ROWLANDsterkte het gemiddelde op te maken van alle bijbehorende aequivalente breedten.

Deze methode, hoewel vrij van willekeur, heeft echter bezwaren. Er blijkt een groote spreiding te zijn in de aequivalente breedten, die behooren bij eenzelfde ROWLANDintensiteit: uit de metingen volgt, dat ROWLAND in zijn schattingen dikwijls fouten van één eenheid van zijn schaal heeft gemaakt (bij circa 20% der lijnen) en dat ook grootere afwijkingen geen zeldzaamheid zijn. De ijking is dus slechts betrouwbaar als men in *elk* golflengtegebied van *iedere* ROWLANDsterkte een groot aantal lijnen gemeten heeft, en dit was niet steeds mogelijk.

Een betere ijking zal men dan ook verkrijgen, door niet ieder golflengtegebied afzonderlijk te behandelen, maar het heele proces op de volgende wijze grafisch uit te voeren. Langs de abscis wordt de golflengte uitgezet en langs de ordinaat de aequivalente breedte. Iedere gemeten FRAUNHOFERlijn is in dit diagram voor te stellen door een punt. De verlangde ijking krijgt men nu, door zoo goed mogelijk krommen te trekken door *die* punten, welke behooren bij lijnen van *eenzelfde* ROWLANDintensiteit. De spreiding der punten om de ijkingskrommen is aanzienlijk en daarom zijn in fig. 1 terwille van de duidelijkheid alleen deze krommen geteekend; de schaal der aequivalente breedten is logaritmisch genomen.

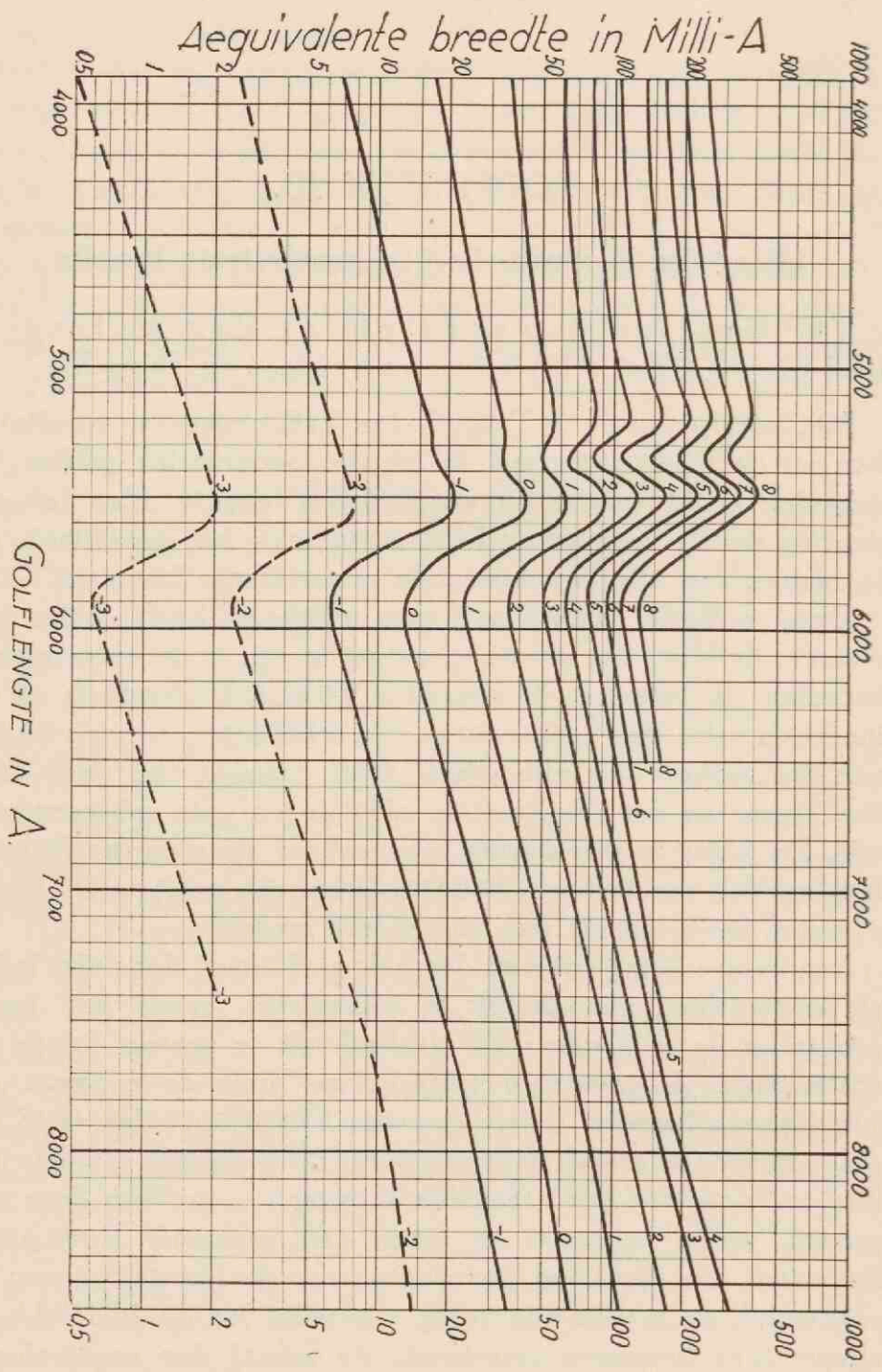


Fig. 1. IJking der ROWLANDSchaal in aequivalente breedte als functie van de golfengte.

Lijnen, die in de schaduw staan van zeer sterke absorptielijnen in het zonnenspectrum, zijn van de ijking uitgesloten: uit een onderzoek van een aantal dezer lijnen, in Tabel II aangegeven door * bleek, dat de *aequivalente breedte in zulke gevallen 30 tot 50% minder is dan met de ROWLANDsterkte zou overeenkomen*; hierbij is als continue grond genomen de vleugel van de betreffende naburige lijn. (Zie ook nog § 11).

De krommen —2 en —3 zijn gestippeld, omdat voor deze allerzwakste lijnen de aequivalente breedten onzeker zijn.

Het plotselinge eind der krommen —3, 5, 6, 7, en 8 bij een zekere λ beteekent, dat voorbij die golflengte zulke lijnen in de R.R.T. niet meer voorkomen (afgezien van atmosferische lijnen).

Van de lijnen met een ROWLANDintensiteit grooter dan 8 zijn er te weinig gemeten, om ook hiervoor hetzelfde proces te kunnen uitvoeren. De resultaten voor deze lijnen worden echter wel opgegeven in Tabel XI.

Zooals uit fig. 1 blijkt, is de met een bepaalde ROWLANDsterkte corresponderende gemiddelde aequivalente breedte *niet constant, maar afhankelijk van de golflengte*: van het ultra-violet af neemt deze waarde langzamerhand toe tot 5200 A., dan volgt een afname van in totaal ca. 40% tot 5350 A. (*eerste minimum*¹⁾). Bij 5500 A. is weer een maximum bereikt, dat een weinig hoger ligt dan het maximum bij 5200 A. Hierna volgt een plotselinge daling tot 5900 A. (*tweede minimum*), waar de aequivalente breedte nog slechts $\frac{1}{3}$ bedraagt van de waarde bij 5500 A. Van 5900 A. af naar het infra-rood volgt weer een geleidelijke toename: bij 8600 A. zijn de aequivalente breedten bij *eenzelfde* ROWLANDsterkte ongeveer 5 maal zoo groot als bij 5900 A.

Het verloop der krommen kunnen we dus als volgt karakteriseeren: er is een algemeene neiging tot toename der aequivalente breedte, bij eenzelfde ROWLANDsterkte, met toenemende golflengte, onderbroken door 2 plotselinge dalingen, bij 5200 en 5900 A.²⁾

¹⁾ De hier gegeven ijking is te beschouwen als een verbetering van de voorloopige ijking, door ons gepubliceerd in: Zs. f. Astrophys. 8, 62, 1934; daar komt dit eerste minimum, dat door de metingen van RIGHINI bevestigd is, nog niet tot uiting.

²⁾ Het algemeene karakter der krommen verandert weinig, wanneer we de aequivalente breedte der lijnen niet in golflengte-, maar in frequentieschaal uitdrukken.

De oorzaak hiervan moet gelegen zijn in de typische eigenschappen der door ROWLAND gebruikte platen, waaromtrent wij geen nadere bijzonderheden hebben kunnen vinden. Men kan slechts zeggen, dat de stijging naar rechts vermoedelijk te wijten is aan afnemende helling der zwartingskrommen zijner platen bij de zwarting van het continue spectrum; hierin zal ook de toenemende belichtingstijd een rol gespeeld hebben. — De minima bij 5350 en 5900 Å. zijn waarschijnlijk ontstaan door het gebruik van sensibilisatoren, die de platen in deze gebieden zeer contrastrijk hebben gemaakt. De maxima bij 5200 en 5500 Å. corresponderen met de geringe gradatie (samengaande met ongevoeligheid), die de meeste platen daar vertoonen.

In gebieden, waar geen metingen plaats vonden, zijn de krommen eenvoudig doorgetrokken. Het is niet onmogelijk, dat ook daar nog maxima of minima aanwezig zijn. Dat zal echter pas kunnen blijken, als het geheele zonnenspectrum in bijzonderheden onderzocht is.

In Tabel XI vindt men de ijking numeriek weergegeven. Bij iedere ROWLANDsterkte wordt de aequivalente breedte vermeld, zooals die uit fig. 1 is afgelezen, en wel voor *die* golflengtegebieden, waar metingen werden uitgevoerd.

In de laatste kolom wordt opgegeven de gemiddelde fout, die men bij gebruik dezer ijking kan verwachten *tengevolge van de beperkte nauwkeurigheid der ROWLANDschaal*: deze immers klimt slechts op met geheele eenheden, welke overeenkomen met een verandering van 20 tot 100% in aequivalente breedte bij middelsterke lijnen ($R > 0$), en zelfs met factoren 2 tot 4 bij de allerzwakste lijnen. Bovendien komen in de schattingen meermalen fouten voor van één of meerdere eenheden van de schaal (zie § 8).

De medegedeelde waarden voor de gemiddelde fout zijn verkregen, door van de afwijkingen der aequivalente breedten in Tabel II t/m VIII ten opzichte van de ijking in Tabel XI het gemiddelde per ROWLANDklasse te nemen. Deze gemiddelden hangen weinig af van de golflengte, zooals ook plausibel is uit het evenwijdige verloop der krommen; daarom is voor iedere ROWLANDsterkte slechts één waarde gegeven voor de te ver-

TABEL XI.

Ijking der ROWLAND-schaal in aequivalente breedte (milli-Å.) voor de onderzochte golflengtegebieden.

λ R	3900	4500	5200	5350	5500	5600	5700	5800	5900	6000	6700	7600	8600	Fout in %
-3	0,5	0,8	1,5	1,7	2,0	1,8	1,2	0,7	0,6	0,7	1,2	—	—	100
-2	2,5	3,6	6,0	7,0	7,6	7,0	4,0	2,9	2,4	2,5	4,4	9	14	55
-1	7,0	10	16	17	21	18	10	7,0	6,2	6,4	10,6	21	35	34
0	17	23	34	34	42	36	21	15	13	13	21	40	65	25
1	36	42	56	49	63	57	36	26	23	24	38	66	108	20
2	60	65	84	64	92	80	52	38	36	37	56	96	170	19
3	81	88	118	81	127	104	71	53	51	52	75	127	245	16
4	106	115	160	108	168	128	88	66	63	65	94	155	310	15
5	135	150	210	145	225	158	109	82	78	81	110	180	—	15
6	165	184	260	190	280	190	135	102	94	96	128	—	—	16
7	200	230	320	242	340	235	164	121	110	112	—	—	—	17
8	250	285	380	305	410	300	208	150	130	130	—	—	—	20
10	340	649	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	470	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1180	—
15	680	1040	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2640	—
20	1070	—	1140	—	—	—	—	550	—	—	—	—	3440 ¹⁾	—
30	—	—	1500	—	—	—	—	700	—	—	—	—	—	—

1) Ca+, $\lambda = 8542$, R = 16.

wachten fout. — Voor de allerzwakste lijnen (— 2 en — 3) waren slechts ruwe schattingen mogelijk; maar ook de hiervoor opgegeven aequivalente breedten zijn onzeker.

§ 9. Vergelijking met ijkingen van andere onderzoekers (Tabel XII en XIII).

1. RIGHINI heeft met behulp van zijn materiaal, dat zich uitstrekt van 5288—5472 A. (zie § 7), een ijking gegeven voor dit gebied, waarvan het midden is 5380 A.; men vindt deze in de 2^e kolom van Tabel XII.

Nu is een gebied van bijna 200 A. wel wat te groot om op deze wijze bewerkt te worden: mogelijke onregelmatigheden ontsnappen zoo aan de aandacht. Het verdient aanbeveling, het materiaal (87 lijnen) in twee groepen te verdeelen: 5288—5380 A. en 5380—5472 A., en voor ieder dezer groepen, waarvan de middens 5325 en 5425 A. zijn, de ijking afzonderlijk op te maken.

Het resultaat dezer splitsing vindt men in de 3^e en 4^e kolom van Tabel XII. — Er zijn te weinig lijnen met ROWLANDsterkten — 1, 7 en 8 om ook hiervoor dezelfde bewerking uit te voeren.

TABEL XII.

Nieuwe bewerking van RIGHINI's materiaal.

R	I RIGH. (5380)	I (5325)	I (5425)
—1	15	—	—
0	38	39	37
1	59	60	56
2	77	65	95
3	102	90	120
4	161	111	176
5	198	166	222
6	246	203	279
7	321	—	—
8	401	—	—

Men ziet, dat de aequivalente breedten bij 5325 A. vanaf $R = 2$ *systematisch lager zijn* dan bij 5425 A.; dit verschijnsel is *te* opvallend om toevallig te zijn en we aarzelen dan ook niet, het als reëel te beschouwen (zie fig. 1, § 8). Zooals in § 7 is medegedeeld, zijn RIGHINI's metingen, na vermenigvuldiging met een factor 0,90 in onze ijking opgenomen.

2. WOOLLEY geeft, uit metingen van 131 lijnen tusschen 4040 en 4390 A. (zie § 7), een ijking voor 4200 A. Men vindt deze in de 2^e kolom van Tabel XIII.

TABEL XIII.

Vergelijking met WOOLLEY's ijking (4200 A.)

R	$I_{\text{WOOLL.}}$	$I_{\text{MULD.}}$	$\frac{I_{\text{MULD.}}}{I_{\text{WOOLL.}}}$
1	30	39	1,30
2	42	62	1,48
3	54	83	1,54
4	72	110	1,54
5	114	140	1,23
6	144	172	1,20
8	299	265	0,89

Verdeeling van het materiaal in twee groepen geeft hier niets nieuws. — Onze ijking voor 4200 A., die verkregen is door interpolatie tusschen 3900 en 4500 A. (fig. 1), wordt in de 3^e kolom opgegeven: deze waarden zijn voor middelsterke lijnen ($R = 1$ t/m 4) ca. 50% *hooger* dan die van WOOLLEY, terwijl voor sterkere lijnen het verschil afneemt en zelfs van teeken omkeert.

Hoewel het niet onmogelijk is, dat er bij 4200 A. een minimum is, lijkt dit ons toch zeer onwaarschijnlijk. Teekent men een ijkingskromme (I als functie van R) voor 4200 A., met behulp van WOOLLEY's waarden, dan blijkt deze totaal anders te verlopen dan onze ijkingskrommen bij 3900, 4500 en 5200 A., die onderling nagenoeg evenwijdig zijn. Het is niet goed aan te nemen, dat de door ROWLAND gebruikte platen zich hier

plotseling geheel anders gedragen zouden hebben dan in de naburige golflengtegebieden. — *Wij vermoeden dan ook, dat de door WOOLLEY opgegeven aequivalente breedten van FRAUNHOFERlijnen systematisch ongeveer 30% lager zijn dan de onze; voor sterke lijnen wordt het verschil waarschijnlijk gering.*

Metingen, in ditzelfde gebied uitgevoerd door Mej. ELINK-SCHUURMAN ¹⁾ aan platen, door MINNAERT opgenomen met de prismaspectrograaf te Potsdam, vertoonen een dergelijk verschijnsel: de aequivalente breedten, die WOOLLEY voor dezelfde lijnen opgeeft, zijn gemiddeld ongeveer 40% lager. Deze metingen bevestigen dus onze ijking, wat nog ons boven uitgesproken vermoeden versterkt.

De oorzaak van zulk een systematisch verschil is moeilijk na te gaan. WOOLLEY's opnamen zijn door EVERSLED gemaakt met de prismaspectrograaf te Ewhurst. Zwartingsmerken zijn later te Cambridge aangebracht volgens een methode, die geheel afwijkt van de onze. Er is gebruik gemaakt van een uniform verlicht diafragma met rechthoekige openingen van gelijke breedte doch verschillende lengte; dit wordt door een cylinderlens afgebeeld, zoodat men onder elkaar een aantal beeldjes krijgt, waarvan de intensiteiten evenredig zijn met de oppervlakten der openingen.

Deze methode lijkt ons minder veilig dan de trapverzwakker. Men werkt hier met een door filters doorgelaten golflengtegebied, en niet in één enkele golflengte. Men moet zekerheid hebben, dat het diafragma volkomen gelijkmatig verlicht wordt. Verder is het de vraag, of de belichtingstijd steeds gelijk is geweest aan die der corresponderende opname; ook is de evenwijdigheid van zwartingskrommen niet gecontroleerd — een zwartingskromme is verkregen uit slechts 6 punten.

Tenslotte is de beoordeeling van de continue grond in dit gebied, waar de lijnen zoo dicht opeen liggen, zeer moeilijk.

¹⁾ Deze metingen zullen binnenkort gepubliceerd worden in het Zs. f. Astrophys.

HOOFDSTUK IV.

Energieverdeling in het zonnenspectrum en temperatuur der zon.

§ 10. De energie in het zonnenspectrum als functie van de golflengte.

Van groot belang voor onze kennis van de fysische toestand der zon is een juiste bepaling van de intensiteitsverdeling in het spectrum. Waarnemingen hieromtrent zijn door vele onderzoekers verricht ¹⁾. In het bijzonder moeten hier genoemd worden de jarenlange, zorgvuldige metingen van ABBOT en zijn medewerkers, verricht met de spectrobolometer; hun nieuwste resultaten, verkregen in de jaren 1920—1922, worden beschouwd als de meest betrouwbare gegevens voor de energieverdeling in het zonnenspectrum, waarover we tot dusver beschikken ²⁾. Bevredigend is ook de goede overeenstemming met de resultaten der onder ¹⁾ genoemde waarnemers, die volgens geheel andere methoden zijn verkregen ³⁾.

Men moet zich echter goed rekenschap geven van de beteekenis dezer energiekromme. ABBOT verkreeg haar oorspronkelijk als een nevenproduct van zijn bepalingen der zonneconstante ¹⁾; hoewel zijn nieuwste metingen ²⁾ speciaal zijn geschied met het doel, de energiekromme der zon te bepalen, zijn zij toch nog volgens dezelfde methode bewerkt.

Er zijn daarom twee punten, waarop men bij gebruik van ABBOT's kromme moet letten: hij geeft de energieverdeling voor zonlicht dat:

¹⁾ ABBOT, *Smithson. Ann.* 2, 1908; 3, 1913; 4, 1922; MÜLLER u. KRON, *Potsd. Publ.* 22, Nr. 64, 1912; WILSING, *Potsd. Publ.* 22, Nr. 66, 1913. ROSENBERG, *Nova Acta, Halle CI*, Nr. 2, 1914.

²⁾ ABBOT, FOWLE, ALDRICH, *Smithson. Misc. Coll.* 74, No. 7, 1923.

³⁾ Een samenvattend overzicht met vergelijking der resultaten vindt men in: *Handb. d. Astrophys.* IV, 1929, blz. 23—26.

1. bestaat uit een mengsel van straling van alle punten der zonneschijf, elk met haar eigen energieverdeeling;

2. in de atmosfeer der zon selectieve absorptie ondergaan heeft, op de plaatsen der FRAUNHOFERlijnen — daar is de energie veel minder dan volgens ABBOT's kromme, die een *gemiddelde* is over grootere golflengtegebieden; hij zegt immers: „Smooth curves were drawn through a mean position between crest and trough of solar lines, except K, H and a few others" (Smithson. Ann. 2, 50, 1908).

Voor de bepaling der zonneconstante is dit ook precies, wat men noodig heeft, n.l. de energieverdeeling in het zonlicht, *zoals dit de aardatmosfeer bereikt*, dus gemengd over de heele zonneschijf en gemiddeld over continu spectrum met absorptielijnen.

Voor de zonnetheorie echter is van meer belang de intensiteitsverdeeling in het *continue* spectrum der zon, omdat deze, niet beïnvloed door de toevallige samenstelling der zonneatmosfeer en door de positie's der FRAUNHOFERlijnen, ons iets leert omtrent de toestand der *fotosfeer*.

De afname der intensiteit van het zonlicht naar de rand der zon (randverzwakking) maakt het wenschelijk, hiertoe de straling van het *centrum* der zonneschijf te onderzoeken.

De intensiteitsverdeeling in deze straling zou men nu uit ABBOT's vervormde kromme kunnen verkrijgen, door voor de twee bovengenoemde oorzaken te corrigeren:

1. reductie op het centrum der zonneschijf — deze is, met behulp van ABBOT's metingen der randverzwakking, uitgevoerd door MINNAERT¹⁾, die tevens ABBOT's willekeurige schaal omzette in absolute energie;

2. correctie voor de invloed der FRAUNHOFERlijnen — bij gebrek aan kwantitatieve metingen hiervan was dit tot dusver niet mogelijk; met behulp van de in § 8 door ons gegeven ijking van de ROWLANDSchaal is deze correctie thans aan te brengen.

Een andere methode is, te trachten de energieverdeeling in

¹⁾ MINNAERT, B. A. N. 2, Nr. 51, blz. 75, 1924. Hierbij is aangenomen, dat de aequivalente breedten van FRAUNHOFERlijnen in het *centrum* spectrum niet verschillen van die in het *gemiddelde* spectrum, waarin ABBOT heeft gemeten (zie ook § 12).

het continue spectrum der zon *direct* te meten. Dit is gedaan door FABRY en BUISSON¹⁾ in het golflengtegebied 2922—3940 A, en door PLASKETT²⁾ tusschen 4000 en 6687 A. Deze onderzoekers, die fotografisch werkten, hebben in het spectrum van het centrum der zon plaatsen uitgezocht, die zooveel mogelijk vrij zijn van FRAUNHOFERlijnen, dus het continue spectrum der zon dicht benaderen. De daar aanwezige energie hebben zij vergeleken met die van de positieve krater van een koolboog, waarvan werd aangenomen, dat hij als een zwart lichaam straalt.

Het is niet te verwonderen, dat op deze wijze resultaten werden verkregen, die geheel afwijken van die van ABBOT. — FABRY concludeerde uit zijn metingen, (die weliswaar in een willekeurige schaal worden opgegeven, maar onmiddellijk in absolute energie zijn om te rekenen met behulp van de bijgevoegde stralingstemperaturen), dat de energieverdeeling in het zonnenspectrum tusschen 2922 en 3940 A. nagenoeg gelijk is aan die van een zwart lichaam van 6000° K, in tegenstelling met ABBOT's kromme, die veel te snel daalt om hiermee in overeenstemmig te zijn.

Deze conclusie is echter niet juist, omdat het waarnemingsgebiedje van FABRY bij 3940 A, dat hij beschouwd heeft als continu spectrum der zon, op de vleugel der K-lijn ligt en wel slechts 6,3 A. van het centrum dezer lijn! Uit metingen van MINNAERT³⁾ over het profiel der K-lijn volgt, dat de intensiteit hier slechts 63% is van die in het continue spectrum ter plaatse: het waarnemingspunt van FABRY bij 3940 A. komt dus veel hoger te liggen (38 in plaats van 23,9 in zijn schaal, zie Tabel XVII) en de energiekromme valt nu vanaf 4000 A. veel steiler naar beneden, dan de kromme van een zwart lichaam van 6000° K. Men kan hoogstens zeggen, dat tusschen 3600 en 3000 A. de energieverdeeling in het zonnenspectrum weinig afwijkt van die van een zwart lichaam van 6000° K.

PLASKETT geeft slechts de *relatieve* intensiteitsverdeling tusschen 4000 en 6687 A, en vergelijkt die met de eveneens

¹⁾ FABRY et BUISSON, Comptes Rendus 175, 156, 1922.

²⁾ PLASKETT, Publ. Dom. Astrophys. Obs. 2, 242, 1923.

³⁾ MINNAERT, Zs. f. Ph. 45, 610, 1927.

relatieve metingen van ABBOT. Door een willekeurige factor doet hij beide krommen zoo goed mogelijk samenvallen tusschen 5300 en 6600 A; ze blijken dan nog goed overeen te stemmen tot 4700 A., maar voor kleinere golflengten daalt ABBOT's kromme veel sneller¹⁾. Als oorzaak hiervoor ziet PLASKETT terecht aan de sterke invloed der FRAUNHOFERlijnen op ABBOT's kromme in het blauwe en violette gebied.

PLASKETT zegt verder, dat de energie-kromme van het continue spectrum tusschen 4000 en 6700 A. goed te benaderen is door de straling van een zwart lichaam met een temp. tusschen 6700 en 7000° K. Deze conclusie is echter niet gerechtvaardigd, omdat de wijze waarop PLASKETT zijn kromme vergeleken heeft met de theoretische, niet juist is. Men mag n.l. niet, door vermenigvuldiging met een willekeurige factor, de vorm der krommen op elkaar probeeren aan te sluiten, maar moet beide krommen in *absolute energie uitzetten*, en dan vergelijken.

§ 11. Verklaring van de afwijkingen tusschen de energie kromme van het continue spectrum en ABBOT's gemiddelde kromme, door de invloed der FRAUNHOFERlijnen quantitatief in rekening te brengen (fig. 2).

Wij zullen nu aantoonen dat de metingen van PLASKETT en van FABRY goed overeenstemmen met die van ABBOT, mits men de invloed der FRAUNHOFERlijnen op de eerstgenoemde resultaten toepast.

Daartoe hebben wij in de R. R. T. het aantal FRAUNHOFERlijnen van iedere ROWLANDsterkte per 100 A. geteld, van 2975 tot 10218 A.²⁾ In totaal liggen in dit gebied 19467 lijnen; uitdrukkelijk zij nog eens vermeld, dat we hier alleen de echte zonnelijnen moeten hebben: de aardsche lijnen zijn van de telling uitgesloten, omdat de invloed daarvan bij ABBOT's bewerking volledig is verantwoord.

¹⁾ Zie fig. 9, blz. 252 in Publ. Dom. Obs. 2, Nr. 12, 1933. PLASKETT's opmerking, dat een eventueele reductie van ABBOT's gemiddelde kromme op het centrum der zon slechts wijzigingen geeft van minder dan 3 of 4%, is onjuist; zie MINNAERT, B. A. N. 2, 75, 1924.

²⁾ Om praktische redenen werd geteld per geheel aantal bladzijden in de R. R. T.

Met behulp van de in § 8 door ons gegeven ijking van de ROWLANDSchaal in aequivalente breedte is het nu mogelijk, de gezamenlijke aequivalente breedte van alle FRAUNHOFERlijnen in elk golflengtegebiedje te bepalen, d.w.z. de breedte van een totaal zwarte band in dat gebiedje, waarin evenveel energie verdwenen is als in de FRAUNHOFERlijnen. Het is wel duidelijk, dat men dit moet uitvoeren voor niet te groote golflengtegebieden, immers:

1. de energie in het continue spectrum is niet constant, maar een functie van de golflengte;
2. de dichtheid der lijnen loopt zeer uiteen in de verschillende delen van het spectrum;
3. de ROWLANDSchaal heeft niet overal dezelfde beteekenis: zooals uit fig. 1, bl. 44 blijkt, is de ijking sterk afhankelijk van de golflengte.

Daarom zijn van 2975 tot 6200 A. gebieden gekozen van ongeveer 100 A.; voorbij 6200 A. wordt de dichtheid der lijnen snel minder, en zijn de gebieden grooter genomen.

Voor golflengten kleiner dan 3850 A., waar geen metingen zijn uitgevoerd, werd de ijking van 3900 A. gebruikt. Hierdoor zijn de resultaten voor het ultra-violette gebied onzeker, want het is zeer goed mogelijk, dat de met een bepaalde ROWLANDsterkte corresponderende aequivalente breedte daar weer sterk met de golflengte verandert.

De sterke lijnen ($R \geq 10$), waarvoor geen ijking is gegeven zijn, indien ze niet door onszelf zijn gemeten, ontleend aan metingen van anderen, (WOOLLEY, RIGHINI), voor zoover die beschikbaar waren. Voor de waterstoflijnen der BALMER-reeks werd dankbaar gebruik gemaakt van ongepubliceerd materiaal van MINNAERT. De aequivalente breedte van de weinige nog niet gemeten sterke lijnen werd geschat, hetgeen weinig bezwaar oplevert, daar, zooals aanstonds zal blijken, het toch de zwakkere lijnen zijn, die het grootste deel bijdragen tot de absorptie.

We hebben er van afgezien, het geheele materiaal volledig mede te deelen; om echter een idee te geven van de verdeling der in totaal geabsorbeerde energie over de FRAUNHOFERlijnen van de verschillende ROWLANDsterkten, worden in Tabel XIV voor een paar willekeurige golflengtegebieden uitvoerige

gegevens verstrekt. — Bij iedere ROWLANDsterkte is achter-eenvolgens opgegeven:

1. het aantal lijnen N in het betreffende gebied;
2. de gemiddelde waarde I_{gem} voor de aequivalente breedte, ontleend aan de ijking in § 8 (fig. 1, blz. 44);
3. de totale aequivalente breedte der lijnen van die ROWLANDsterkte, I_R , dus het product $N \times I_{\text{gem}}$.

Men ziet, dat de belangrijkste bijdrage tot de totale absorptie wordt geleverd door de middelsterke lijnen ($R = 1$ t/m 5), en dat I_R voor de zwakkere lijnen snel afneemt: dit convergeeren geeft aanleiding tot de onderstelling, dat een eventueele bijdrage van nog zwakkere, niet waarneembare lijnen, te verwaarlozen is.

De waarden I_R worden nu gesommeerd: dit geeft, gedeeld door 1000, de totale breedte in A , door de lijnen vertegenwoordigd. — Men moet echter nog een correctie aanbrengen voor die lijnen, welke elkaar overdekken: zooals reeds in § 8 is medegedeeld, hebben zulke lijnen een geringere aequivalente breedte dan met hun ROWLANDsterkte overeenkomt volgens de ijking, die is uitgevoerd voor goed alleenstaande lijnen. Voor een aantal dergelijke paren werd de gezamenlijke aequivalente breedte gemeten, welke, als beide lijnen van dezelfde orde van intensiteit zijn, gemiddeld ongeveer 30% minder bleek te zijn dan normaal. Loopen de intensiteiten echter meer uiteen, dan wordt de invloed snel minder. — Nu zijn deze moeilijk te scheiden groepen in de R.R.T. aangegeven door boogjes bij de golflengten: we behoeven in elk gebied dus slechts het aantal boogjes te tellen, waarna de correctie is aan te brengen.

Het spreekt vanzelf, dat deze correctie zeer onzeker is; haar invloed is gelukkig niet zeer groot, maximaal ongeveer 8%. Voor golflengten grooter dan 5000 \AA . speelt het effect geen rol meer. In het ultra-violette gebied, waar de ijking zelf reeds onzeker is, werd de correctie niet aangebracht.

De gecorrigeerde totale aequivalente breedte wordt tenslotte gedeeld door de breedte van het betreffende gebied: dat geeft de gezamenlijke absorptie, in % van het continue spectrum, door de in het gebied aanwezige FRAUNHOFERlijnen.

TABEL XIV

Totale absorptie door de FRAUNHOFERlijnen in verschillende deelen van het zonnenspectrum.

R	3549/3646			4242/4348			5150/5236			5842/5950			7333/8002		
	3600			4300			5200			5900			7700		
	N	I _{gem.} in milli-A.	I _R	N	I _{gem.} in milli-A.	I _R	N	I _{gem.} in milli-A.	I _R	N	I _{gem.} in milli-A.	I _R	N	I _{gem.} in milli-A.	I _R
-3	264	0,5	132	34	0,7	24	116	1,5	174	114	0,6	68	—		
-2	93	2,5	232	94	3,2	300	84	6	504	40	2,4	96	18	9,8	176
-1	50	7	350	160	9	1440	28	16	448	25	6,2	157	4	22	88
0	55	17	935	142	21	2980	15	34	510	15	13	195	6	42	252
1	92	36	3310	111	40	4440	12	56	670	7	23	161	32	70	2240
2	87	60	5220	102	63	6420	16	84	1340	4	36	144	24	100	2400
3	59	81	4780	27	84	2270	11	118	1300	5	51	255	4	137	548
4	44	106	4660	15	111	1670	5	160	800	4	63	252	—		
5	25	135	3370	5	143	715	7	210	1470	3	78	234	1	180	180
6	13	165	2150	2	177	354	1	260	260	3	94	282	—		
7	4	200	800	1	215	215	1	320	320	—			—		
8	4	250	1000	4	300	1200	—			1	130	130	—		
9	2	300	600	—			—			—			—		
10	2	340	680	1		470	—			—			—		
12	1	490	490	—			—			—			—		
15	1	600	600	1		555	1		600	—			—		
20	3	1000	3000	(H _γ)		4150	1		1140	1		550	—		
25	—			—			—			—			—		
30	1	2000	2000	—			1		1500	1		700	—		
40	—			—			—			—			—		
ΣN=	800	ΣI _R = 34,31		700		27,22	299		11,04	223		3,22	89		5,88
Correctie:						-2,30			-0,90						
		34,31 A				24,92 A			10,14 A			3,22 A			5,88 A
Grootte v. h. gebied	97 A					106 A			86 A			108 A			670 A
Absorptie in pct.	35,4%					23,5%			11,8%			3,0%			0,9%

In Tabel XV wordt het eindresultaat voor het geheele zonnenspectrum vermeld. De eerste kolom bevat het midden van het betreffende golflengtegebied, de tweede de onderste en bovenste grens, en in de derde vindt men de door de daar aanwezige FRAUNHOFERlijnen te zamen geabsorbeerde energie I_T in procenten van het continue spectrum.

Dit is echter nog niet, wat we noodig hebben om de energiekromme van het continue spectrum der zon te kunnen reduceeren op ABBOT's kromme. Zooals ABBOT zelf zegt (Smithson. Ann. 2, blz. 50), heeft hij op zijn bologrammen weliswaar gladde krommen getrokken door het gemiddelde tusschen continue spectrum en absorptielijnen, maar hierbij zijn uitgezonderd de allersterkste lijnen: K, H en eenige anderen, die niet nader worden aangeduid. — Uit een zorgvuldige bestudeering van het bologram in Smithson. Ann. 3, blz. 22 is ons gebleken, dat hiermee vermoedelijk worden bedoeld lijnen, waarvan de ROWLANDsterkte 20 is, of grooter. Hierbij moet men bedenken, dat deze lijnen zich op ABBOT's bologrammen verheffen tegen een achtergrond, die niet het *ware continue spectrum* is, maar reeds beïnvloed is door de gezamenlijke absorptie I_Z van alle zwakkere lijnen, die men vindt in de vierde kolom. Daarom hebben we voor alle lijnen met een ROWLANDsterkte ≥ 20 bepaald, welk aandeel der aequivalente breedte zich bevindt boven deze door ABBOT geteekende achtergrond: dat bedrag moet worden *afgetrokken* van de totale absorptie I_T door *alle* FRAUNHOFERlijnen in de 3^e kolom. — Het eindresultaat I_A vindt men in de 5^e kolom van Tabel XV.

Alvorens nu met behulp van deze waarden de reductie te gaan uitvoeren, moeten we eerst nog nagaan, in hoeverre PLASKETT's en FABRY's metingen het ware continue spectrum der zon benaderen. — Er is reeds op gewezen (§ 10), dat het punt van FABRY bij 3940 Å. op de vleugel der K-lijn ligt, waar de intensiteit slechts 63% van het continue spectrum bedraagt. Hetzelfde geldt voor 2 waarnemingspunten van PLASKETT:

- a. 4094 Å. is slechts 7,7 Å. van het centrum van H_δ — de intensiteit is daar slechts 92% van het continue spectrum.
- b. 4333 Å. is slechts 6,5 Å. van het centrum van H_γ — de intensiteit is daar slechts 89% van het continue spectrum.

TABEL XV

Totale absorptie in % voor het geheele zonnenspectrum, resp. door alle FRAUNHOFER-lijnen (I_T), door de zwakkere ($R < 20$; I_Z), en bij ABBOT's metingen (I_A)

λ_m	Grenzen	I_T	I_Z	I_A	λ_m	Grenzen	I_T	I_Z	I_A
3000	2975/3050	14	13	13,5	5100	5040/5150	9	9	9
3100	3050/3150	25	23	24	5200	5150/5236	12	9	11
3200	3150/3252	19	19	19	5300	5236/5350	8	8	8
3300	3252/3351	24	24	24	5400	5350/5462	7	7	7
3400	3351/3447	25	24	24,5	5500	5462/5551	8	8	8
3500	3447/3549	25	24	24,5	5600	5551/5655	6	6	6
3600	3549/3646	35	30	33	5700	5655/5761	4	4	4
3700	3646/3750	38	30	35	5800	5761/5842	2,5	2,5	2,5
3800	3750/3852	37	33	35	5900	5842/5950	3	2	2,2
3900	3852/3945	46	27	40	6000	5950/6033	2,1	2,1	2,1
4000	3945/4054	35	20	30	6100	6033/6154	2,4	2,4	2,4
4100	4054/4155	24	18	22	6200	6154/6257	3,7	3,7	3,7
4200	4155/4242	19	18	18,5	6400	6257/6550	2,0	2,0	2,0
4300	4242/4348	23,5	19	22	6700	6550/6854	2,7	1,5	1,6
4400	4348/4442	14	14	14	7000	6854/7126	1,1	1,1	1,1
4500	4442/4552	12	12	12	7200	7126/7333	0,6	0,6	0,6
4600	4552/4655	11	11	11	7700	7333/8002	0,9	0,9	0,9
4700	4655/4754	11	11	11	8200	8002/8350	1,2	1,2	1,2
4800	4754/4854	6	6	6	8600	8350/8926	2,8	1,6	1,7
4900	4854/4961	13	8	10	9500	8926/10218	1,5	1,5	1,5
5000	4961/5040	9	9	9					

Verder zijn door deze onderzoekers in het zonnenspectrum weliswaar plaatsen uitgezocht, die zoo goed mogelijk het continue spectrum vertegenwoordigen, maar die toch altijd nog een aantal FRAUNHOFERlijnen bevatten. PLASKETT geeft de grootte van zijn gebiedjes, en het aantal en de sterkte der FRAUNHOFERlijnen, die daarin nog voorkomen ¹⁾ en die hij met zijn gering oplossend vermogen (23 A/mm bij H_{δ} , 123 A/mm bij H_{α}) niet heeft kunnen scheiden. Bij FABRY vindt men hieromtrent niets medegedeeld. — Met behulp van onze ijking (§ 8) kunnen PLASKETT's waarden dus gecorrigeerd worden voor deze zwakke lijnen, zoodat men nu werkelijk de intensiteit in het *continue* spectrum der zon krijgt.

De geheele reductie van PLASKETT op ABBOT vindt men numeriek weergegeven in Tabel XVI.

In de kolommen wordt achtereenvolgens vermeld :

1. het midden λ_m van het golflengtegebiedje, waarin gemeten werd ;
2. de intensiteit I_{Pl} zooals PLASKETT die opgeeft in een willekeurige schaal ;
3. de grootte $\Delta\lambda$ van het gebiedje ;
4. de som ΣI van de æquivalente breedten van alle daar nog aanwezige FRAUNHOFERlijnen ;
5. de correctie, tengevolge daarvan aan te brengen aan I_{Pl} zijnde het quotient $\frac{\Sigma I}{\Delta\lambda}$, in 2 gevallen nog vermeerderd met de vleugels van H_{δ} , resp. H_{γ} ;
6. de gecorrigeerde intensiteit I'_{Pl} in het ware continue zonnenspectrum, in PLASKETT's schaal ;
7. de voor de invloed der FRAUNHOFERlijnen gereduceerde intensiteit I'_{red} , verkregen door de absorptie uit de 5^e kolom van Tabel XV toe te passen op I'_{Pl} ;
8. ABBOT'S waarden, omgerekend voor het centrum der zon in absolute energie ²⁾: $I_{\lambda, A}$ in erg per cm² per sec ;

1) PLASKETT, Publ. Dom. Obs. 2, Nr. 12, 1923, Tabel 9, blz. 243.

2) MINNAERT, B. A. N. 2, Nr. 51, 75, 1924.

TABEL XVI

Reductie der metingen van PLASKETT (I_{PI}) op die van ABBOT (${}_0I_{\lambda,A}$) door de invloed der FRAUNHOFERlijnen in rekening te brengen.

λ_m	I_{PI}	$\Delta\lambda$	ΣI	$\frac{\Sigma I}{\Delta\lambda}$ in %	I'_{PI}	I'_{red}	${}_0I_{\lambda,A} \times 10^{-14}$	$\frac{I'_{red}}{{}_0I_{\lambda,A}}$	$I'_{red} \times 10^{-14}$	${}_0I_{\lambda} \times 10^{-14}$
4000	9,68	1,3	0,080	6	10,3	7,20	2,75	2,62	3 17	4,54
4094	9,00	1,8	0,048	2,7 + 11(H β)	10,4	8,10	3,47	2,34	3,57	4,58
4333	9,04	2,0	0,150	7 + 8 (H γ)	10,6	8,30	3,73	2,23	3,66	4,66
4507	9,80	3,5	0,163	4,7	10,3	9,10	4,00	2,28	4,00	4,54
4660	9,45	3,9	0,207	5,3	10,0	9,00	4,07	2,21	3,96	4,40
4796	9,49	5,4	0,062	1,2	9,61	9,05	4,06	2,22	4,00	4,23
4895	9,37	3,6	0,056	1,6	9,55	8,60	3,98	2,16	3,80	4,20
4948	9,11	3,7	0,028	0,8	9,20	8,35	3,93	2,14	3,70	4,05
5062	9,07	4,5	0,102	2,3	9,30	8,45	3,80	2,20	3,73	4,10
5222	8,85	7,3	0,316	4,3	9,25	8,25	3,65	2,26	3,63	4,07
5358	8,68	8,2	0,210	2,6	8,90	8,25	3,52	2,34	3,62	3,92
5609	8,26	12,3	0,307	2,5	8,47	7,96	3,37	2,36	3,50	3,73
5824	7,88	15,2	0,128	0,8	7,95	7,75	3,30	2,35	3,40	3,50
6035	7,41	15,0	0,151	1,0	7,48	7,33	3,21	2,28	3,22	3,30
6209	7,08	8,8	0,032	0,4	7,12	6,90	3,10	2,23	3,04	3,14
6687	6,05	18,0	0,028	0,2	6,06	6,00	2,80	2,14	2,64	2,67

TABEL XVII

Reductie der metingen van FABRY (I_F) op die van ABBOT (${}_0I_{\lambda,A}$)

λ_m	I_F	Corr. (K)	${}_0I_{\lambda} \times 10^{-14}$	I'_{red}	${}_0I_{\lambda,A} \times 10^{-14}$
2922	11,8		1,47	1,27	—
3022	12,9		1,61	1,40	—
3143	12,2		1,52	1,16	—
3620	19,2		2,40	1,61	2,35
3940	23,9	37 %	4,75	2,85	2,55

9. de verhouding $\frac{I_{\text{red}}^I}{I_{\lambda, A}^I}$: het feit, dat deze vrij goed constant is (gemiddeld 2,27), wijst er op, dat de gereduceerde metingen van PLASKETT goed overeenstemmen met die van ABBOT;
10. de gereduceerde metingen van PLASKETT, overgebracht in absolute energie I_{red} door deeling door 2,27;
11. de absolute energie in het continue zonnenspectrum I_{λ} , verkregen door I_{pl} eveneens te deelen door 2,27.

De reductie van FABRY op ABBOT is eenvoudiger, omdat uit FABRY's gegevens onmiddellijk de absolute energie te berekenen is, hoewel hij zelf zijn resultaten in een willekeurige schaal heeft uitgedrukt. — ABBOT's metingen van 1920—1922 gaan echter slechts tot 3415 Å, waar ze reeds zeer onzeker zijn; voor kleinere golflengten kan de vergelijking niet meer worden uitgevoerd.

In Tabel XVII vindt men in de kolommen achtereenvolgens opgegeven:

1. het midden van λ_m het golflengtegebiedje, waarin gemeten werd;
2. de intensiteit I_F , zooals FABRY die opgeeft in een willekeurige schaal;
3. de correctie voor het laatste punt wegens de vleugel der K-lijn;
4. de intensiteit in het continue spectrum in absolute energie: ${}_0I_{\lambda}$;
5. de voor de invloed der FRAUNHOFERlijnen gereduceerde intensiteit I_{red} , verkregen door de absorptie uit de 5^e kolom van Tabel XV toe te passen op ${}_0I_{\lambda}$;
6. ABBOT's waarden, omgerekend voor het centrum der zon in absolute energie: ${}_0I_{\lambda, A}$.

Een grafische voorstelling, waarin de geheele reductie van de metingen van PLASKETT en FABRY op die van ABBOT wordt samengevat, vindt men in fig. 2. De kruisjes en plustekens stellen hierin resp. voor de gecorrigeerde waarden van PLASKETT

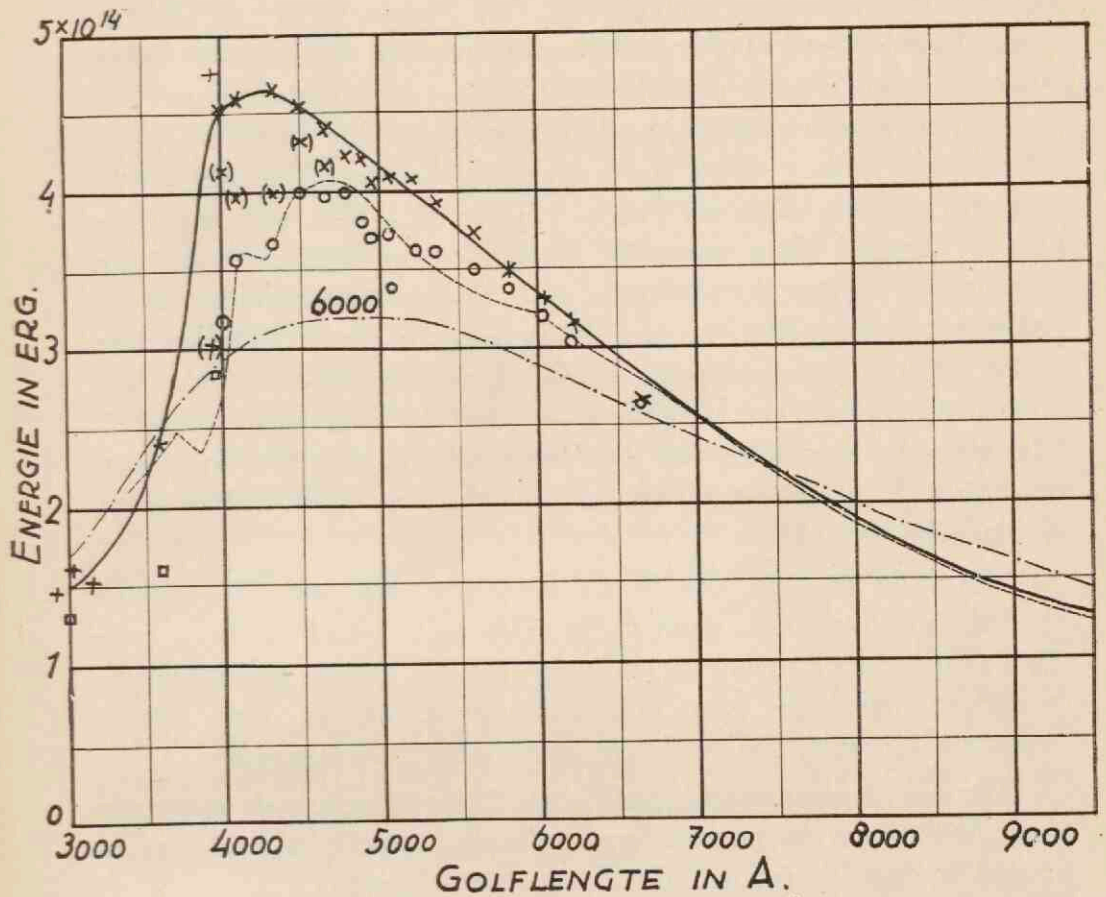


Fig. 2. Vergelijking van de metingen van PLASKETT en FABRY over de energie-verdeeling in het continue spectrum der zon, met ABBOT's kromme, door de invloed der FRAUNHOFERlijnen in rekening te brengen.

(x) (x) (x) : PLASKETT } ongecorrigeerd;
 (+) (+) (+) : FABRY }

(x) (x) (x) : id. } gecorrigeerd tot waar cont. spectrum;
 (+) (+) (+) : id. }

(o) (o) (o) : id. } resultaat, na vermindering van de energie in 't ware cont. spectrum met de energie, geabsorbeerd in de FRAUNHOFERlijnen.

— — — : ABBOT's kromme (1920—'22); - · - · - : theoretische kromme voor 6000°.
 — — — : energieverdeeling in het cont. spectrum der zon, gemiddeld uit de voor FRAUNHOFERlijnen gecorrigeerde metingen van ABBOT, PLASKETT en FABRY.

en FABRY in absolute energie (${}_0I_\lambda$ in Tabel XVI en XVII): zeer bevredigend is de uitstekende aaneensluiting dezer beide, geheel van elkaar onafhankelijke waarnemingsreeksen. De tusschen haakjes geplaatste teekens zijn de punten, zooals genoemde onderzoekers die opgegeven hebben, dus niet gecorrigeerd voor de vleugels van K, H_δ en H_γ . Men ziet, welk een groot verschil deze correctie uitmaakt: nu begrijpt men, hoe FABRY kwam tot de conclusie, dat de energieverdeeling in het ultra-violette gebied is als die van een zwart lichaam van 6000°K (de streep-stip-lijn in de figuur), *welke conclusie door onze metingen moet vervallen*. — Ook is door onze correctie de vreemde anomalie van het tweede en derde waarnemingspunt van PLASKETT verdwenen (vergelijk fig. 9, bl. 252 in Publ. Dom. Obs. 2, 1923).

Nadat de energie, die in de FRAUNHOFERlijnen is geabsorbeerd, is afgetrokken, gaan de kruisjes en plustekens resp. over in de cirkeltjes en vierkantjes: *men ziet, dat de zoo gereduceerde waarnemingen zeer goed overeenstemmen met de door ABBOT gegeven kromme, die in de fig. gestippeld is aangegeven*.

Hiermee is aangetoond, dat de afwijking tusschen de metingen van ABBOT en die van andere onderzoekers uitsluitend veroorzaakt is door de invloed der FRAUNHOFERlijnen.

Slechts in het verre ultra-violet is de overeenstemming minder goed. In dit gebied echter zijn ABBOT's waarden zeer onzeker; zij vertoonen er een spreiding van dezelfde orde als de afwijkingen in fig. 2. Neemt men bijv. ABBOT's bepalingen van 1903—1910, dan zou de overeenstemming zelfs zeer goed worden.

Maar ook de resultaten van FABRY voor dit gebied kunnen door foutenbronnen beïnvloed zijn. De positieve krater van een koolboog straalt n.l. niet als een zwart lichaam, zooals hij heeft aangenomen, maar als een grauw lichaam: de energiewaarden van een zwarte straler van de temperatuur der krater zouden dus met een constante factor, kleiner dan 1, vermenigvuldigd moeten worden. — Verder lijkt de door FABRY aangenomen temperatuur van 3750°K wel wat aan de lage kant, tenminste als zijn elektroden van zuivere koolstof zijn geweest. Tegenwoordig neemt men 4200° aan als de beste waarde voor het

centrum van de positieve krater ¹⁾. De gemiddelde waarde voor een grooter deel van de krater wordt dan natuurlijk wat lager, maar zal toch in de buurt van 4000° blijven. Hierdoor zouden de energiewaarden vergroot worden: dit effect werkt dus in tegengestelde richting als het vorige. — Tenslotte merken we nog op, dat we FABRY's waarden niet, zooals die van PLASKETT, konden corrigeeren voor FRAUNHOFERlijnen, die in zijn uitgekozen gebiedjes eventueel nog aanwezig zijn geweest. Dientengevolge zouden zijn punten in het ultra-violet misschien 5 à 10 % hooger moeten liggen (vergelijk het bedrag dezer correctie voor de metingen van PLASKETT, Tabel XVI, 5^e kolom).

Wij hebben nu tevens materiaal verkregen voor de bepaling van de energieverdeeling in het *continue* spectrum der zon. — In fig. 2 is een kromme getrokken, die zoo goed mogelijk door de gecorrigeerde punten van FABRY en PLASKETT gaat.

Men kan zeggen, dat deze kromme bevestigd wordt door de metingen van ABBOT, nadat deze zijn gecorrigeerd voor de invloed der FRAUNHOFERlijnen. Deze goede overeenstemming geeft ons het recht, de kromme voorbij 6687 Å., het laatste punt van PLASKETT, te extrapoleeren door ABBOT's metingen in dit gebied te corrigeeren voor de absorptie der FRAUNHOFERlijnen, met behulp der waarden I_A uit Tabel XV.

Door de gegeven kromme zijn de verschillende moderne waarnemingen dus met elkaar verbonden. Zij geeft waarschijnlijk de beste beschrijving van de absolute energieverdeeling in het continue spectrum van het centrum der zon, welke met de thans beschikbare gegevens mogelijk is. — De energie is uitgedrukt in erg per sec. per cm^2 van het zonsoppervlak per eenheid van ruimtehoek, voor $\Delta\lambda = 1 \text{ cm}$.

De afwijkingen van de theoretische kromme voor het zwarte lichaam van 6000° K zijn zeer aanzienlijk: het maximum ligt bij 4250 Å. en bedraagt $4,65 \times 10^{14}$ erg, terwijl dat voor de zwarte straling van 6000° K bij 4800 Å. ligt en $3,22 \times 10^{14}$ erg bedraagt.

De kromme der energieverdeeling in het zonnenspectrum te verklaren is een belangrijke taak voor de heliophysische theorie, en of zij dit kan, moet als een der criteria voor haar juistheid beschouwd worden.

¹⁾ KOHN und GUCKEL, Zs. f. Ph. 27, 341, 1924; WIEN-HARMS, Hb. d. Experimentalphys. XIII, 3. Teil, S. 725.

§ 12. De totale hoeveelheid in de FRAUNHOFERlijnen geabsorbeerde energie (fig. 3) en de invloed hiervan op de randverzwakking en op de temperatuur der zon.

Met behulp van de resultaten onzer metingen, samengevat in Tabel XV, § 11, is het mogelijk de fractie η_c te bepalen, welke tengevolge van de absorptie in de omkeerende laag uit het continue spectrum van het centrum der zonneschijf is verdwenen.

De waarden I_T in de 3^e kolom van Tabel XV, verkregen uit onze ijking van de ROWLANDSchaal in aequivalente breedte en telling van alle FRAUNHOFERlijnen in de R. R. T., geven de absorptie door de in gebieden van 100 Å. aanwezige lijnen, uitgedrukt in % van de intensiteit in het continue spectrum. De waarde van η_c is nu grafisch te bepalen.

In fig. 3 is de energiekromme van het continue spectrum van het centrum der zonneschijf geteekend, zooals die in § 11, fig. 2 is afgeleid. De intensiteit is vervolgens bij iedere golflengte, waarvoor I_T in Tabel XV is opgegeven, met dit bedrag verminderd, waarna de ontstane punten door de gestippelde kromme zijn verbonden. (Opnieuw zien we de groote gelijkenis hiervan met ABBOT's kromme, fig. 2). Het gearceerde tusschengebied stelt de energie voor, welke door de omkeerende laag wordt geabsorbeerd. Door planimetreeren is te bepalen, welke fractie dit is van de energie, die in totaal in het continue spectrum aanwezig was.

Een kleine correctie dient nog te worden aangebracht voor de gebieden $\lambda < 3000$ Å. en $\lambda > 10.000$ Å.

Het verloop der energiekromme beneden 3000 Å. is onbekend. Aangenomen is, dat de straling zich hier gedraagt als die van een zwart lichaam, en dat 20% ervan door absorptie is weggenomen. Hoewel dit slechts een ruwe schatting is, kan hierdoor in het eindresultaat slechts een geringe fout ontstaan, daar de beneden 3000 Å. in het zonnenspectrum aanwezige energie niet meer dan eenige procenten van de totale straling kan bedragen. — Boven 10.000 Å. is een absorptie van 1% aangenomen; door ABBOT's kromme met dit bedrag te corri-

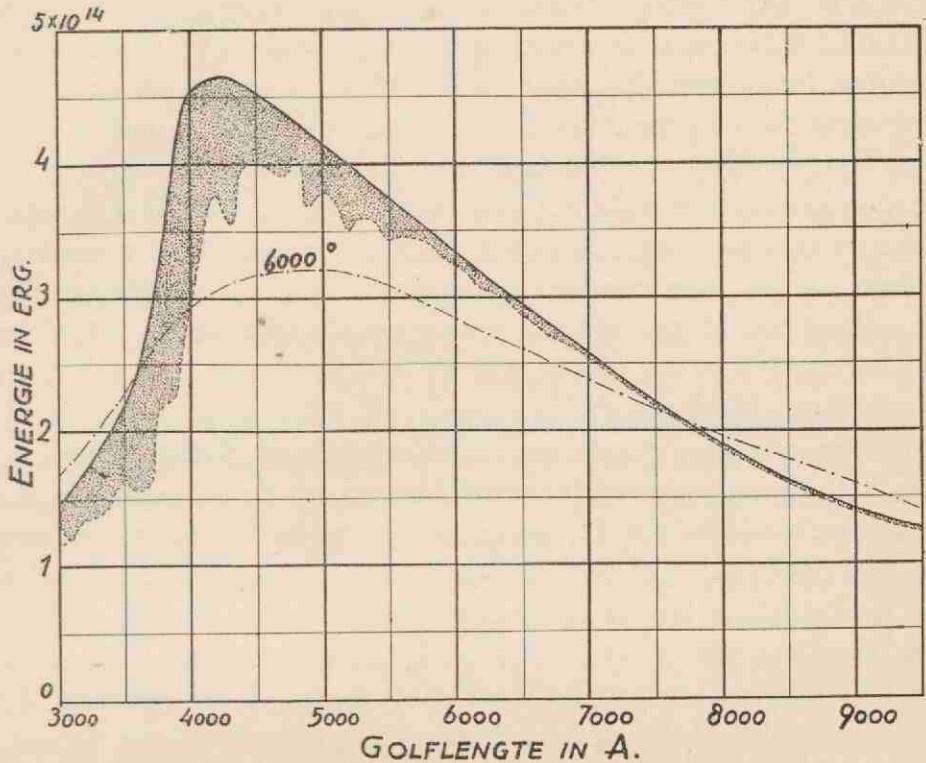


Fig. 3. De in totaal door de omkeerende laag uit het continue spectrum der zon geabsorbeerde energie. De absorptie door de FRAUNHOFERlijnen is voorgesteld als functie van de golflengte, en telkens gemiddeld over 100 Å.

geeren, verkregen we de energieverdeling in het continue spectrum van 10.000 tot 22.000 Å. Voorbij deze grens is weer zwarte straling aangenomen.

Het eindresultaat luidt:

$$\eta_c = 0,083$$

Een schatting van de grenzen, waartusschen deze waarde, tengevolge van bovengenoemde onzekerheden in het verre ultra-violet en infra-rood, eventueel nog zou kunnen veranderen, levert:

$$0,08 < \eta_c < 0,09$$

De vroeger door MINNAERT gegeven waarde $0,15^1$), verkregen als voorloopige schatting uit metingen van eenige lijnen in de buurt van H_α , blijkt dus te hoog te zijn.

¹⁾ MINNAERT, Zs. f. Ph. 45, 610, 1927.

MILNE heeft erop gewezen ¹⁾ dat de energie, welke in de FRAUNHOFERlijnen is verdwenen, noodzakelijk weer moet worden teruggezonden naar de fotosfeer. Immers, als men een stationnaire toestand aanneemt, kan er in de omkeerende laag onmogelijk voortdurend energie opgehoopt worden: de verdwenen hoeveelheid zal in de vorm van straling terugkeeren naar de eronder liggende lagen. Hierdoor wordt de temperatuur aldaar *hooger*, dan zonder omkeerende laag het geval zou zijn: deze laag werkt dus als een warmte-isolatie voor de fotosfeer. MILNE vergelijkt dit effect met de werking van een deken en noemt het „blanketing”.

Met vereenvoudigende onderstellingen heeft MILNE de invloed van het effect op de randverzwakking en op de temperatuur der zon berekend. In zijn formules treedt op de factor η , die aangeeft welk breukdeel door de omkeerende laag van de *in totaal* uit de fotosfeer tredende straling wordt geabsorbeerd. Deze η zou men kunnen meten, door de FRAUNHOFERlijnen te onderzoeken in het spectrum van het gemiddelde zonlicht der geheele schijf. De door ons bepaalde η_c heeft alleen betrekking op het centrum-spectrum, dus op de loodrecht uittredende bundel. Men mag echter aannemen, dat η_c weinig van η zal verschillen, aangezien het typische randspectrum eerst aan de uiterste zoom van de zonneschijf optreedt.

De waarnemingen zoowel als de theorie voeren tot de volgende benaderde wet voor de intensiteitsafname naar de rand der zonneschijf:

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = 1 - u + u \cos \theta$$

Hierin noemt men u de randverduisteringscoëfficiënt. De waarnemingen ²⁾ hebben voor u een waarde 0,55 opgeleverd, terwijl dit volgens de theorie van het stralingsevenwicht zonder omkeerende laag 0,60 moest zijn.

Rekening houdend met de invloed der omkeerende laag, geeft MILNE voor u de betrekking:

$$u = \frac{3(1-\eta)}{5-\eta}$$

¹⁾ MILNE, Phil. Trans. Roy. Soc. 223 A, 225, 1922; Hb. d. Astrophys. III, 1. Teil, 144, 1930.

²⁾ ABBOT, FOWLE, ALDRICH, Smithson. Ann. IV, 221, 1922.

Met $\eta = 0,083$ vinden we:

$$u = 0,56$$

in goede overeenstemming met de waarnemingen.

Voor de temperatuur aan de grens van de fotosfeer geeft MILNE, inplaats van de vroegere uitdrukking

$$T_g^4 = \frac{1}{2} T_e^4$$

de betrekking

$$T_g^4 = \frac{1}{2} T_e^4 \frac{1 + \eta}{1 - \eta}$$

Hierin is T_e de effectieve temperatuur der zon, berekend uit de zonneconstante. Met $T_e = 5767^\circ$ ¹⁾ en $\eta = 0,083$ is het resultaat:

$$T_g = 5050^\circ$$

terwijl de oude theorie 4850° geeft.

De effectieve temperatuur van de voor absorptie in de omkeerende laag gecorrigeerde fotosfeerstraling, gemiddeld over de heele zonneschijf, wordt:

$$T_e = 5900^\circ$$

tegenover de vroegere waarde, die 5767° bedraagt.

¹⁾ Hb. d. Astrophys. IV, 50, 1929.

Summary.

1. The telescope of the Solar Physics Department of the Physical Laboratory at Utrecht and the method of photographic photometry are described, and the possible errors of measurement are discussed.

2. The equivalent breadths are given of 462 FRAUNHOFER lines, distributed over *eight* different regions of the spectrum of the centre of the Sun's disc (Table II as far as VIII incl.).

3. With the aid of these measurements, a calibration in equivalent breadth is given of ROWLAND's scale of intensities for solar lines, ranging from 3900 A. to 8600 A. (fig. 1 and Table XI). The equivalent breadth, corresponding to a certain ROWLAND intensity, does not remain a constant for different wave-lengths. There are two maxima (at 5200 and at 5500 A.) and two minima (at 5350 and at 5900 A.); in the second minimum the equivalent breadths are reduced to about a third of their values at 5500 A., while at 8600 A. the equivalent breadth for a given ROWLAND intensity is about 5 times as much as in the minimum at 5900 A.

4. By counting through ROWLAND's Revised Table and using the calibration curves of fig. 1, we have determined the total energy, which has disappeared from the continuous spectrum of the Sun in the formation of the FRAUNHOFER lines, as a function of wave-length (Table XV). The differences between ABBOT's curve of the *mean* energy distribution in the solar spectrum, and the measurements of PLASKETT and of FABRY in the *continuous* spectrum are shown to be wholly due to the absorption of the FRAUNHOFER lines (fig. 2, Table XVI and XVII). By accounting for this absorption, the energy distribution in the continuous spectrum of the centre of the Sun's disc is obtained with good agreement from the various measurements mentioned above, and is found to differ notably from the black body curve.

The value of η , the fraction of the total radiation in the continuous spectrum, absorbed by the reversing layer and sent back to the photospheric layers (blanketing), is found to be 0,083.

STELLINGEN

I

De conclusie van MILNE, dat de algemeene absorptiecoëfficiënt in de fotosfeer der zon onafhankelijk is van de golflengte, is niet gerechtvaardigd.

MILNE, Hb. d. Astrophys. III, 1. Teil, 155, 1930.

II

De wijze, waarop WOOLLEY zijn metingen corrigeert voor DOPPLER-effect, is ongeoorloofd.

WOOLLEY, Ann. of the Solar Phys. Obs. Cambridge, Vol. III, Part II, 104, 1933.

III

De verklaring, die GROTRIAN geeft van het FRAUNHOFER-spectrum der buitencorona, is in tegenspraak met de door MOORE in dit spectrum gemeten roodverschuiving.

GROTRIAN, Zs. f. Astrophys. 8, 124, 1934.
MOORE, P. A. S. P. 35, 333, 1923; id. 45, 147, 1933.

IV

De bewering van BAUMANN en MECKE, dat de lijnen 7771, 7774 en 7775 in het zonnespectrum zonder twijfel van atmosferische oorsprong zijn, en bovendien niet aan zuurstof kunnen worden toegeschreven, moet op een misverstand berusten.

BAUMANN en MECKE, Das ultrarote Sonnenspectrum, 53, 1934.

V

RUSSELL heeft verzuimd, bij toepassing van $\Sigma f = 1$, de emissie's als negatieve absorptie's in rekening te brengen.

RUSSELL, Ap. J. 70, 42, 1929.

VI

Ten onrechte brengt EDDINGTON het RUSSELL-ADAMS-effect in verband met een te geringe bezetting der hogere niveau's.

RUSSELL, Ap. J. 70, 74, 1929.

VII

Het zelf-registreeren van ster-doorgangen zal in de practijk geen grootere nauwkeurigheid verschaffen dan de tot dusver gebruikte methoden.

VIII

De tweede benadering bij de berekening van een planetenbaan volgens de methode van GAUSZ kan aanmerkelijk bekort worden.

IX

De bewering van SCHUH, dat de reeks

$$1 + \frac{a b}{1! c} + \frac{a (a + 1) b (b + 1)}{2! c (c + 1)} + \dots$$

convergeert voor $c > a + b - 2$ en divergeert voor $c \leq a + b - 2$, is foutief. Deze reeks convergeert n.l. voor $c > a + b$ en divergeert voor $c \leq a + b$.

SCHUH, Lessen over de hogere Algebra III, 350, 1926.

X

Men moet het voordeel van roode mistlenzen bij autolampen niet overschatten.

Dis
Utr

19