



Methodisch onderzoek der kleurstelsels van kleurblinden

<https://hdl.handle.net/1874/241913>

1882

A. J. VAN DER WEIJDE.

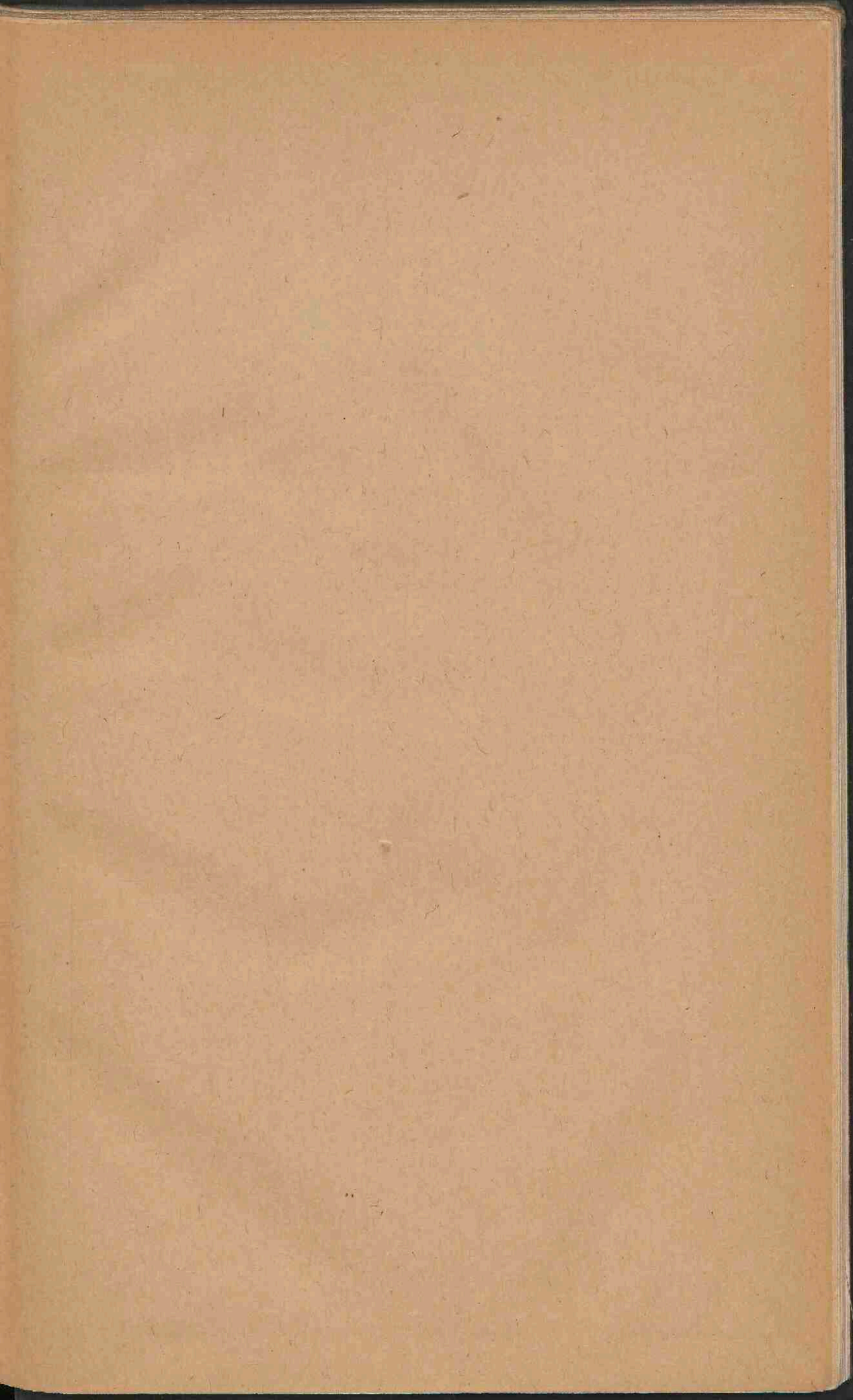
METHODISCH ONDERZOEK

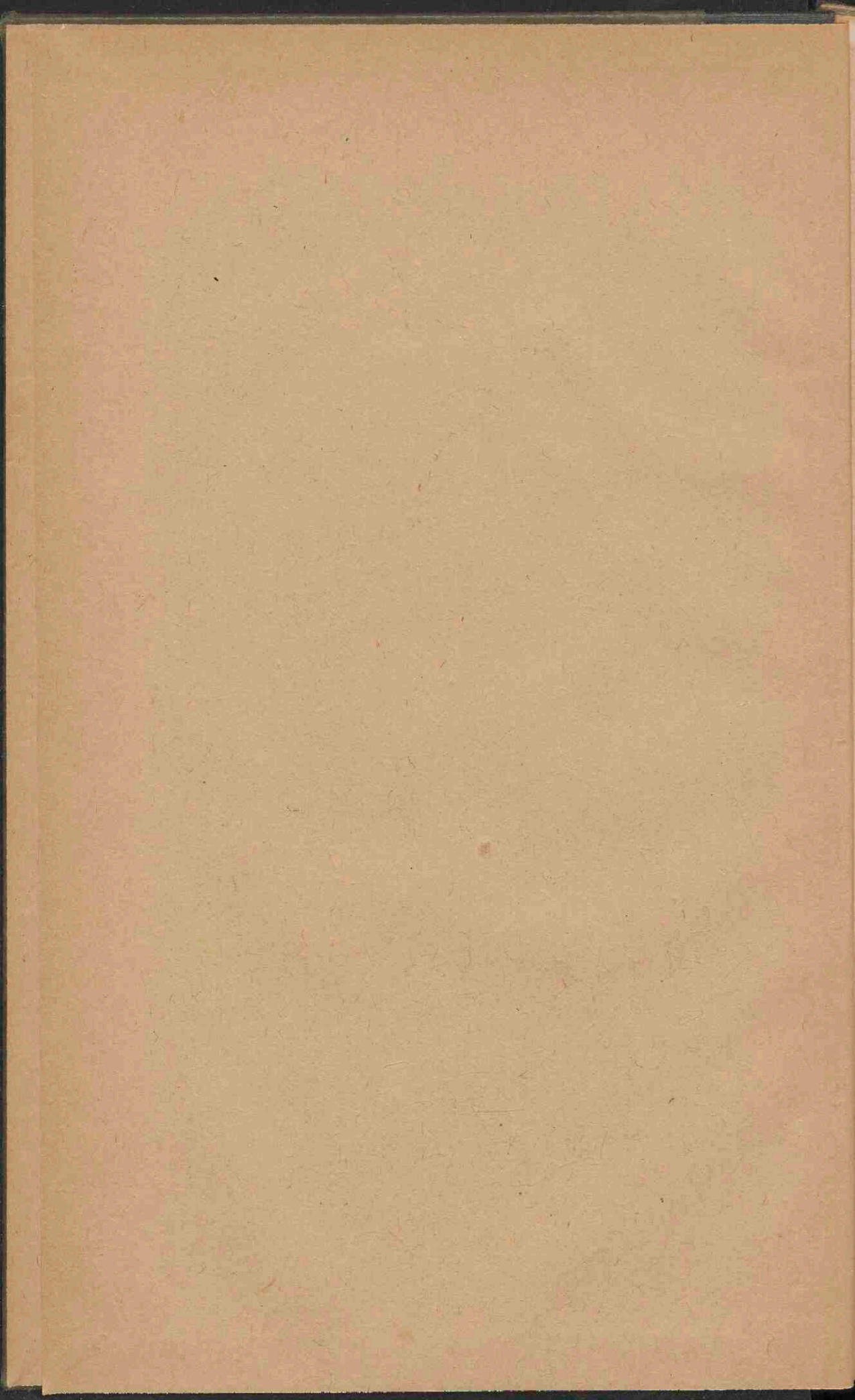
DER

KLEURSTELSELS VAN KLEURBLINDEN.

u.

A. qu.
192





Ms. 192

METHODISCH ONDERZOEK

DER

KLEURSTELSELS VAN KLEURBLINDEN.

METHODISCH ONDERZOEK
DER
KLEURSTELSELS VAN KLEURBLINDEN.

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD

VAN

DOCTOR IN DE GENEESKUNDE,

AAN DE

RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT,

NA MACHTIGING VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

D^r. S. TALMA,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE,

VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT DER UNIVERSITEIT,

EN

OP VOORDRACHT DER GENEESKUNDIGE FACULTEIT,

TE VERDEDIGEN

op M maandag den 13^{den} Maart 1882, des namiddags te 4 uren,

DOOR

ALBERTUS JACOBUS VAN DER WEIJDE,

GEBOREN TE UTRECHT.



UTRECHT,
DANNENFELSER & C^o.

(G. METZELAAR.)

1882.

Terugziende op mijne academische loopbaan, kan ik niet anders als erkentelijk zijn voor het degelijk onderwijs, dat ik van U, Hoogleeraren en Lectoren der medische fakulteit! heb mogen genieten.

Hooggeachte Promotor, Hooggeleerde DONDERS! door Uwe lessen kreeg ik liefde voor physiologie en ophthalmologie. Het is mij vergund geweest onder Uwe leiding een blik te slaan in de wording der wetenschap. Lust voor wetenschappelijk onderzoek hebt Gij in mij doen geboren worden. Wees overtuigd, dat de herinnering daaraan mij steeds met dankbaarheid zal vervullen.

Gij, Hooggeleerde TALMA! hebt mij ingewijd in de methoden, op het gebied der geneeskunde te volgen.

Gij hebt mij geleerd, hoe de geneeskunde slechts van een physiologischen en anatomischen grondslag mag uitgaan. Door Uwe welwillendheid viel mij het voorrecht ten deel bij de medische kliniek als assistent te worden aangesteld. Die gelegenheid tot verdere vorming stel ik op den hoogsten prijs. Mijne dankbaarheid hoop ik U te toonen, door mij met alle kracht te beijveren, om aan Uw vertrouwen te beantwoorden.

DE SCHRIJVER.

1. *Onderwerp.* In mijn eigen kleurblindheid vond ik aanleiding, om mij met het onderzoek dezer anomalie bezig te houden. Ik heb in de eerste plaats de verschillende methoden aangewend, die tot herkenning en onderscheiding der kleurblindheid zijn aanbevolen, vervolgens de spectraalkleuren en de relatieve lichtsterkten der verschillende golflengten onderzocht, en in de derde plaats de intensiteiten der beide energieën als functie der golflengten bepaald. Een en ander geschiedde onder leiding en voortdurende medewerking van Prof. Donders.

De methoden tot herkenning zullen wij slechts in het voorbijgaan aanroeren. Uitvoeriger zullen wij handelen over de relatieve lichtsterkten. Maar hoofdzaak is het beschrijven der werktuigen en der methoden, die ons de energieën van het dichromatisch stelsel als functie der golflengten leeren kennen. De in twee gevallen verkregen uitkomsten zullen daarbij worden medegedeeld.

Met de kennis der bedoelde krommen, verkregen bij

licht van bepaalde samenstelling en bepaalde intensiteit, is ieder geval gekarakteriseerd. Er blijft dan slechts over, de gevoeligheid voor licht en den graad van saturatie der fundamenteele kleuren te bepalen, in vergelijking met die van het normale oog en van andere gevallen van kleurblindheid. Hieromtrent zullen wij ons tot eenige opmerkingen bepalen.

2. *Bepaling der kleurblindheid.* De eerste nauwkeurige beschrijving der kleurverwarringen, waaraan sommigen zich schuldig maken, levert ons het bekende geval van Dalton. Dalton zocht de oorzaak zijner anomalie in absorptie der minst breekbare lichtstralen door de vochten van het oog. Maar al spoedig opperde Herschell de meening, dat de oorzaak in het ontbreken van één der sensaties zou bestaan en dus in de hersenen zou te zoeken zijn, en het bewijs hiervan werd geleverd door Maxwell en door Helmholtz. Beide vatten de kleuren op in den zin van energieën van Thomas Young, die ook zelf reeds het wezen der kleurblindheid in het bestaan van slechts twee energieën gezocht had.

Herschell had tot Dalton het verzoek gericht, zich eens nauwkeurig rekenschap te willen geven, of niet al zijne sensaties zich tot twee fundamenteele kleuren lieten terugbrengen. Maar het blijkt niet, dat Dalton daaraan gehoor gaf. In de analyse, later door den Engelschen ingenieur Dr. William Pole van zijn eigen geval gegeven, vond Herschell eerst wat hij zocht. Opmerkelijk genoeg, was ook een Nederlandsch ingenieur, de Heer Escher, die zich met Prof. Donders in verband stelde, zelfstandig tot de overtuiging gekomen, dat hij slechts twee kleuren onderscheidde, een blauwe en een contrastkleur van deze, door normale oogen groen, geel, oranje

of rood genocmd. Hij wist, dat hij uit twee kleurstoffen, benevens wit en zwart, alle kleuren kon samenstellen, dat tusschen deze voor hem slechts verschillen in saturatie en lichtsterkte bestonden, en ging, half bowust, daarmede te rade, bij het hooren en het bezigen der gewone nomenclatuur. — De twee energieën nu van den kleurblinde onderscheidde Prof. Donders als warme W en koele K.

3. *Opmerkingen over mijn kleursensaties.* Wat mij zelven betreft, ik herinner mij, als kind reeds moeielijk kleuren te hebben onderscheiden en mij in de gebruikelijke namen vaak vergist te hebben. Spoedig werd ik opmerkzaam, dat anderen gemakkelijk verschillen in kleur ontdekten, die voor mij nauwelijks merkbaar waren en dat ik veelal in twijfel was, of ik een kleur rood dan wel groen noemen zou. Dat wat anderen groen en rozerood noemden voor mij een kleurloos grijs kon zijn, was mij ook niet ontgaan. Later van klourblindheid hoorend, begon ik te vermoeden, dat ik daarmee behebt zijn zou. Ik meende echter zeer zeker drie kleuren te onderscheiden. Rood scheen mij een sensatie, die niet met geel en groen was gelijk te stellen, bepaaldelijk gold dit van intensief rood, als dat van klapprozen en van koperoxydule glas. Ook in het spectrum meende ik (behalve de neutrale) drie kleuren te zien en hield het rood bij de Fraunhofersche streep C voor een andere kleur als D en E. Het trof mij bijzonder, toen ik voor het eerst zag, dat in het helle spectrum van direct zonlicht de kleuren bij C, D en E aan elkaar gelijk waren en van een bijzonder rood niets meer te zien was. Ik overtuigde mij nu ook gemakkelijk, door proeven met de draaischijf, vergelijkingen met het dubbel-spectroscoop en vermenging met wit in het ophthalmospectroscoop van Glan, dat rood zich slechts door

saturatie, niet door kleur, van de overige warme tonen onderscheidt, en thans stel ik het mij ook niet meer anders voor. Onder de warme tonen herken ik een krachtig helder geel, als zoodanig, omdat geen andere kleur die lichtsterkte met zóóveel verzadiging bereiken kan, en voorts het heldere gesatureerde rood, bijv. dat van klaprozen, door zijn schitterend aanzien. Bleeke tonen kunnen rood, oranje, geel of groen zijn: ik ontvang daarvan denzelfden indruk. En wat de koele tonen betreft, van groenachtig blauw tot en met violet, dáárin mis ik ten eenemale de differentiële aanwijzingen, die de warme nog opleveren.

Iets belangrijks heb ik nog ten aanzien der neutralen op te merken. Aan drie kleuren van het normale oog is voor den kleurblinde het neutrale eigen: aan het grijs, neutraal voor een ieder, aan blauwgroen en aan een rozerood, voor den roodblinde tamelijk naar het oranje zweemende. In de strengen nu der gewone borduurwol weet ik de rozerode van de beide anderen te onderscheiden. Ik zie er gelijktijdig rood en blauw, warm en koel in. Aanvankelijk was mij dit een raadsel. Waarom vermengen die kleuren zich niet tot neutraal, om dan alleen iets over te laten, hetzij van de warme, hetzij van de koele, indien een van beide domineert? De theorie van het dichromatische stelsel scheen het onverbiddelijk te eischen. Het bleek nu bij nader onderzoek, dat het blauwe aan de meest verlichte, het roode aan de beschaduwde gedeelten eigen was, die in de strengen als golfswijze strepen naast elkander liggen. En nu overtuigde ik mij verder, dat hetzelfde neutrale rozerood bij helder licht koel, bij zwak licht warm worden kan. Van borduurwol zocht ik bij gewoon daglicht de drie soorten van neutralen uit en vond nu, het licht verzwakkende, de grijze nog altijd grijs, de blauwgroene een weinig koel, de rozerode zeer warm.

Later zullen wij zien, dat gelijke verschillen zich bijzonder sterk vertoonen in de vergelijkingen der enkelvoudige neutrale van het spectrum en der neutralen, uit een bepaalde warme en koele kleur samengesteld.

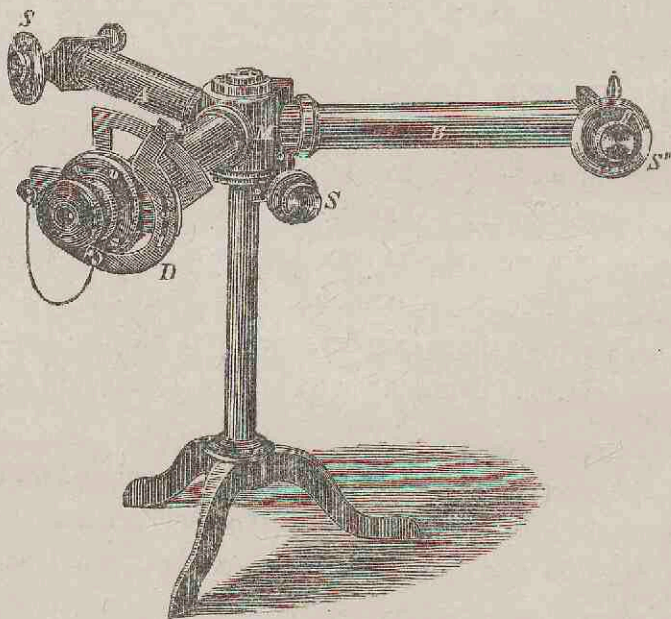
Door een rood glas of door een oplossing van fuchsine gezien, verkrijgt een minder verzadigd rood het schitterende aanzien, waarvan ik sprak. Dat geeft *den indruk van grootere lichtsterkte*. De Hoogleeraar Delboeuf, roodblind, evenals ik, kwam daardoor tot de onderstelling, dat de specifieke roode sensatie bij roodblinden werkelijk zou bestaan, maar door de bijkomende sensaties alléén onderdrukt zijn. Het bleek mij echter, dat die grootere lichtsterkte slechts schijnbaar is. Directe proeven leerden, dat iedere kleur, door fuchsine gezien, wanneer ook levendiger en schitterender, inderdaad licht-zwakker wordt. Roode letters op zwarten achtergrond worden door een fuchsine-oplossing minder ver herkend en kleine roode vlekjes op zwart fluweel, die ik nog op 5,5 M. kon onderscheiden, waren, door fuchsine gezien, in weerwil van grooter levendigheid in de nabijheid, op 4,5 M. reeds geheel verdwenen. Wat Delboeuf waarnam komt dus neer op het verzadigen van het rood door het uitsluiten der meer breekbare stralen. Hiermede schijnen zoowel de verklaring zijner verdere proeven als de theoretische beschouwingen, daaraan vastgeknoopt, te moeten vervallen.

4. *Rood- en groenblinden*. Sedert eenige jaren is het onderzoek van kleurblinden, om wel bekende redenen, aan de orde van den dag. In het algemeen had het ten doel de kleurblindheid te ontdekken en verschillende vormen van volkomen en onvolkomen kleurblindheid te herkennen. Zooals wij weten, had Seebeck twee klassen van kleurblinden onderscheiden, de eerste met

onverkort, de tweede met verkort spectrum, en in verband met de theorie van Young werden die der tweede klasse later *roodblinden*, die der eerste *groenblinden* genoemd. De bekende methode van Holmgren drukte op die onderscheiding het zegel. Zij leidde er toe, in den Heer Escher een typischen groenblinde, in mijzelven een typischen roodblinde te herkennen. Zooveel is zeker, dat, in betrekking tot groen, de Heer Escher het rood veel levendiger zag, dan ik. Dit bleek, onder anderen, bij de methode der gekleurde schaduwen en bij het zien naar het spectrum door een oplossing en beter nog door geslepen plaatjes van chroom-aluin-kristallen 1).

Om het verschil nauwkeurig vast te stellen, bezigde Prof. Donders het *eenvoudige dubbelspectroscop*, fig. 1.

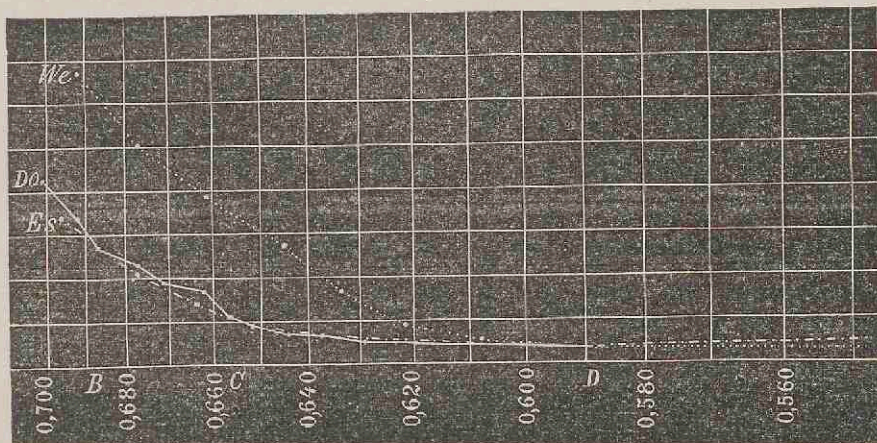
Fig. 1.



1) Donders. Aanteekeningen d. Sectie-vergaderingen v. h. Utrechtsch Genootschap. 1880. bl. 30.

In zijne verhandeling over de kleurstelsels ¹⁾ beschrijft hij de gebezigde methode en geeft in fig. 2 een schematisch diagram der verkregene krommen, uit verschillende gevallen afgeleid. — In fig. 2 nu geven wij de werkelijke

Fig. 2.



krommen, zooals ze, in vergelijking met Prof. Donders (Do.), door Escher (Es.) en door mij (We.) naar de bedoelde methode direct verkregen werden, het dioptrisch spectrum als abscis en de spleetwijdten als ordinaten gebruikende, — met ordinaten dus omgekeerd evenredig aan de lichtsterkten. Men ziet, dat, in betrekking tot de lichtsterkte van D, die van C en B voor Es. nagenoeg met die voor normalen (Do.) gelijk staan, bij We. daarentegen twee- of driemaal geringer zijn, en dat daarentegen alléén voor We. de lichtsterkte naar E nog stijgende blijft. Het verdient opmerking, dat de op de krommen door dikkere stippen aangegeven bepalingen bij We. en Es. regelmatig krommen geven, dan bij Do.: de oorzaak is blijkbaar deze, dat de verschillende golflengten bij Es. en We. slechts verschil van saturatie vertegenwoordigen,

1) Onderzoekingen. D. I bl. 1, Graefe's. Archiv. B. XXVII. 1^o Abth. S. 155, en Annales d'Oculistique. LXXVI. 1881.

blz 32, blz 109.
blz 197

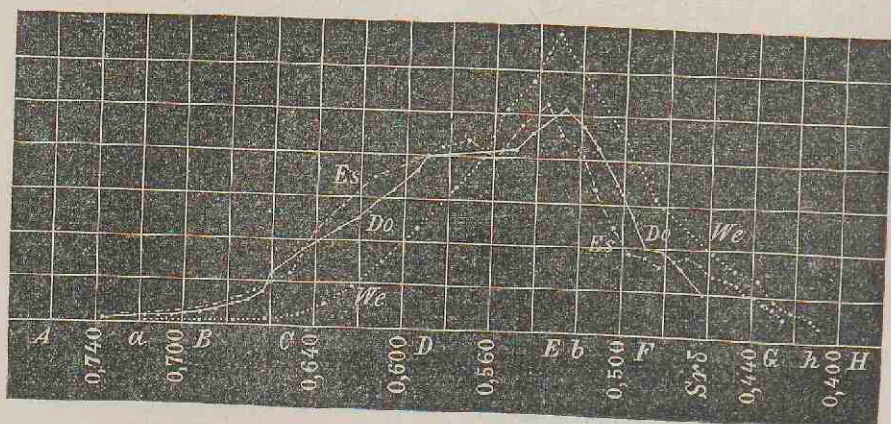
bij Do. ook verschil van kleur, ten gevolge waarvan over lichtsterkte minder nauwkeurig kan geoordeeld worden.

Voorts leerde ons onderzoek, dat vóór andere kleurblinden der betrekkelijke lichtsterkten aan de warme zijde van het spectrum óf met Es. óf met We. nagenoeg gelijk stonden, en dat zich dus twee groepen lieten onderscheiden, tusschen welke overgangen wel niet ontbreken, maar toch schaarsch zijn.

Zonder daarmede iets te willen praejudiciëeren, werden op die groepen de goijkte termen van *groenblinden* Gb. en *roodblinden* Rb. toegepast.

5. *Lichtsterkte van het spectrum voor roodblinden, groenblinden en normale.* Wij hebben voorts zoowel voor het normale oog als voor kleurblinden de *relatieve lichtsterkte over het geheele spectrum bepaald*, daartoe insgelijks gebruik makende van het kleine dubbelspectroscop. De methode is reeds beschreven in de verhandeling over kleurstelsels, waar op bl. 52 ook een schema der resultaten te vinden is. Fig. 3 geeft de uitkomsten, zooals ze be-

Fig. 3.



paardelijk door de bovengenoemde personen (Do., Es. en We.) verkregen werden. Blijkbaar vormen de waarne-

mingspunten der beide kleurblinden Es. en We. weder veel regelmatigier krommen dan die van het normale oog. Uitgaande van N, hadden zij naar beide zijden slechts verschillen van saturatie, het normale oog verschil van kleur, waardoor zooals gezegd werd, de vergelijking der lichtsterkten wordt bemoeielijkt.

Boven, fig. 2, waren de ordinaten de spleetwijdten (Sw) zelve, en de lichtsterkten daaraan dus omgekeerd evenredig. Hier, fig. 3, zijn de ordinaten omgekeerd evenredig aan de spleetwijdten (als $1:Sw$) genomen en dus evenredig aan de lichtsterkten. Voorts werden zij van het dioptrisch op het interferentie-spectrum overgebracht, inderdaad, de eenige rationeele abscis, en wel, bij de vrij gelijke gevoeligheid van rood- en groenblinden voor het witte licht, met gelijke areas. 1)

Bij de reductie nu voor het interferentie-spectrum komen de maxima alle in het groen te liggen, in de nabijheid der Thallium-streep, en het hoogste roikt dat van den roodblinde. Overigens blijkt de lichtsterkte van den roodblinde, aan de roode zijde ver onder te doen voor die van het normale oog. Spreekt het verschil in fig. 3 sterker dan in fig. 2, zoo bedenke men, dat in fig. 2 de lichtsterkten in betrekking tot die van Fraunhofer D bepaald werden, waar ze bij den roodblinde ook reeds voor die van het normale oog onderdoet. De lichtsterkte van den groenblinde zien wij daarentegen aan de roode zijde zich boven die van het normale oog verheffen, en eerst nabij de Thallium-lijn daaronder dalen, om bij zijne neutrale, tusschen b en F, meer dan $\frac{1}{3}$ lager te worden en eerst in het blauw weêr daarboven te stijgen.

1) Bij de krommen van het dichromatisch stelsel komen wij op die reducties terug.

Ook met gaslicht werden door dezelfde personen de relatieve lichtsterkten over het geheele spectrum bepaald. De warme kleuren zijn daarin betrekkelijk sterker, de koele zwakker vertegenwoordigd. Bovendien kwam, in betrekking tot het normale oog, het overwicht der lichtsterkte aan de roode zijde bij den groenblinde veel sterker uit, om tegenover het groen tot ver in het blauw daarvoor onder te doen.

Gelijke resultaten verkregen Macé en Nicati ¹⁾ naar een geheel andere methode. Zij vergeleken, namelijk, van de verschillende golflengten, bij normalen en kleurblinden, de hoeveelheid licht, waarbij gelijke gezichtsscherpte verkregen werd, en vonden, dat de roodblinden daartoe veel meer rood en minder groen, de groenblinde minder rood en veel meer groen behoeven. Bij soortgelijke proeven was alhier gebloken, dat de gezichtsscherpte bij verschillende kleuren geenszins beantwoordt aan de lichtsterkte, en dat bepaaldelijk bij geringe lichtsterkten de verhouding een geheel andere wordt. ²⁾ Daarom was voor de vergelijking der lichtsterkten van de verschillende spectraalkleuren, onderling, van die methode afgezien.

Maar wij hebben gronden, om aan te nemen (zie onzen laatsten §) dat voor de vergelijking derzelfde kleuren bij rood- en groenblinden dit bezwaar wegvalt, en de gevonden tegenstelling schijnt ons daarom alleszins vertrouwen te verdienen. Terecht doen Macé en Nicati uitkomen, dat met dit resultaat de „Theorie der Gegenfarben” zich niet verdraagt. Zoo had ook Prof. Donders reeds te Cambridge getuigd: „A slight notice of the degrees of

1) Comptes rendus de l'académie de Sciences. 11 Oct. et 27 Dec. 1880.

2) Verg. Donders, Aanteek. Prov. Utrechtsch genootschap 1880. bl. 32, en Brit. med. Journ. (Meeting Cambridge) 1880. p. 767.

saturation and intensity of the colours in the different parts of the spectrum would have prevented it."

6. *Bepaling van het verder onderzoek.* Ruim twintig jaren geleden, bepaalde Clerk Maxwell, in een geval van kleurblindheid, voor de verschillende gedeelten van het spectrum de hoeveelheden der samenwerkende energieën. Diens voorbeeld hebben wij te volgen. Bij kleurblinden, die niet meer dan twee energieën hebben, schijnt die bepaling geen bezwaar op te leveren. Wij hebben slechts twee componeerende kleuren te kiezen, een warme W en een koele K, beide tamelijk gesatureerd, en vergelijkingen te maken van de verschillende gedeelten van het spectrum met mengsels van die beide. Met voor die mengsels gevondene hoeveelheden zijn dan de ordinaten voor de beide energieën, alvast voor de tussehen K en W gelegen golflengten, gevonden. Het zal later blijken, hoe zij tot aan de beide grenzen van het spectrum zouden kunnen worden aangevuld. Dat de lichtsterkte op den vorm der krommen invloed heeft, is een bezwaar, waarop wij hier reeds met een woord meenen te moeten wijzen.

Tot het maken dier vergelijkingen worden nu drie spectra gevorderd: *één zelfstandig*, dat zich door het gezichtsveld bewegen kan en achtereenvolgens zijne verschillende kleuren in de oculair-spleet tot aanschouwing brengt, en *twee vaste*, die de twee elkander dekkende componenten leveren. Boven en beneden in de oculair-spleet gezien, zijn ze nu met elkander vergelijkbaar.

7. *Grenzen van het zichtbare spectrum.* Alvorens tot die vergelijkingen over te gaan, bepalen wij de grenzen van het zichtbare spectrum en de ligging der neutrale lijn N. Een absolute bepaling der zichtbare grenzen is

nauwelijks, met de gewone spectroscopen zeker niet te bereiken. Bij zwak licht krimpen zij in en bij sterk licht breidt, ondanks alle voorzorgen, het diffuse licht zich tot buiten de grenzen van het zichtbare spectrum uit. Dit is vooral storend bij den roodblinde, op wien de weinig breekbare stralen een zeer zwakken indruk maken en die ze dus alleen bij wijde lichtspleet te zien krijgt. Hij is nu gehouden de grens aan te geven, waar het zichtbare diffuse licht ophoudt gekleurd te zijn, en krijgt het diffuse licht ver de overhand boven het zwakke gekleurde, dan wordt die grens onzeker. Met voordeel kan hij sommige metaalstrepen aanwenden, waarbij het diffuse licht genoegzaam is uitgesloten: zodoende zag ik de lithiumstreep λ 0,670.5 μ en onder gunstige omstandigheden zelfs de kaliumstreep λ 0.762 μ zeer duidelijk, zoodat er van *absolute* verkorting wel geen sprake zijn kan. Overigens ook bij het gebruik van zonlicht kunnen de roodblinden de stoornis van het diffuse licht verminderen, door met een rood glas of fuchsine de niet roode stralen uit te sluiten. Wat er dan van het witte diffuse licht overblijft is enkel zeer breekbaar rood, waarvoor het oog zeer ongevoelig is, en het regelmatig gebroken rood, dat tot het spectrum behoort, komt daarbij weer beter uit. A en a krijgen zij op die wijze echter ook bij direct zonlicht niet duidelijk te zien.

Aan de violette zijde strekt zich het spectrum bij rood- en bij groenblinden even ver uit als voor het normale oog. Zonder moeite zien allen op jeugdigen leeftijd in het zonlicht H H zeer duidelijk. Aan deze zijde kan overigens, reeds wegens de fluorescentie, van een absolute bepaling der grenzen geen sprake zijn.

Voor ons doel nu is het voldoende, onder gelijke omstandigheden, zoowel bij sterk als zwak licht, vergelijken-der wijze de grenzen door normale oogen en door kleur-

blinden te laten bepalen, waarbij uitgesloten wordt wat onder de gegeven omstandigheden beneden de „Schwelle” blijft. Men kan zich daarbij van het kleine dubbel spectroscop bedienen, en wel van het spectrum der bewegelijke buis B, met aflezing in de as der oculairbuis (verg. kleurstelsels l. c.). Maar het spectrum der enkelvoudige bewegelijke spleet van den later te beschrijven toestel verdient de voorkeur: het mechanisme is meer betrouwbaar en de aflezing nauwkeuriger. Is, bij helderheid van het spectrum, het diffuse licht zichtbaar, zoo vertoont het zich evenzeer in het onderste gedeelte der oculairspleet, waaraan geen spectrum beantwoordt, en door vergelijking laat zich de grens van 't gekleurde licht in het bovenste gedeelte al vrij nauwkeurig aanwijzen; het geschiede bij direct zien. Voor de breedte der spleet is een correctie noodig, bedragende, voor 0.5 mm., aan de roode zijde $\lambda 0.015$, aan de violette slechts $\lambda 0.0025$.

Een overzicht geven onderstaande bepalingen.

	Do. Normaal.	Kag. Normaal.	Wa. Normaal.	Es. Gb.	We. Rb.
ROODE ZIJDE.	0.710			0.705	0.653
	0.710				0.630
	0.735		0.732		0.675
			0.757		0.698
	0.703				0.637
	0.700				0.624
	0.687			0.687	
VIOLETTE ZIJDE.	0.408	0.403			0.400
	0.415				0.406
	0.419			0.410	0.410
	0.414				0.410
	0.408.5				0.401

Zoedoende komen duidelijk verschillen te voorschijn. Doet aan de violette zijde voor We. en Es. onder, waarschijnlijk omdat bij hooger (63-jarigen) leeftijd, zijn lens geler en de gele vlek minder doorschijnend is: indirect ziet hij het licht veel verder, maar alleen grijs, niet paars. Reeksen van bepalingen, onder verschillende omstandigheden, bewezen, dat de waarschijnlijke fout ook bij weinig geoefenden klein is.

8. *De neutrale lijn N van het spectrum.* Om hare ligging te bepalen, kan men zich insgelijks bedienen van het kleine dubbelspectrocoop (fig. 1), de oculair-spleet voorbij het *vaste* spectrum bewegende. De voorkeur verdient hier echter ook het *bewegelijke* spectrum van het groote spectrocoop met vaste oculair-spleet, in verticale richting door de as der buis gaande. Aan de spleet geve men een breedte, waarbij aan de respectieve randen warm en koel even zichtbaar worden. Daarmede is dan de juiste ligging gevonden, die op minder dan 0.001μ kan worden afgelezen. Nadert men langzaam tot N van de warme zijde, dan vindt men N te warm, van de koele zijde te koel: de verschillen liepen (in 10 reeksen van 5 drietallen van waarnemingen) gemiddeld tot $+0.005$ en -0.035μ . Daarbij is contrast in het spel. Men vermijdt dit, door op de grens van W en K de spleet tamelijk snel heen en weer te bewegen.

De juiste ligging nu van N wijst tusschen rood- en groenblinden een constant verschil aan, kleiner evenwel, dan men zou hebben verwacht. In tal van waarnemingen, op verschillende tijden en onder verschillende omstandigheden, speelt N, bij roodblinden, tusschen λ 0.5063 en 0.4922, bij groenblinden tusschen λ 0.5217 en 0.4956. Onder gelijke omstandigheden, bij hetzelfde licht, bedraagt het tusschen v. d. Weijde en Escher niet meer dan 0.003 of 0.004.

Een onmiskenbaren invloed heeft de lichtsterkte.

Wanneer men bij 't verminderen van het daglicht voortgaat, N te bepalen, nadert men meer en meer tot de warme zijde. Zoo verkreeg ik achtereenvolgens λ 0.493, — 0.495, — 0.496, — 0.498, — 0.503.

Hierbij nu kan men zoowel aan veranderde *samenstelling* van het licht als aan veranderde *intensiteit* denken.

Dat de *intensiteit* in 't spel is, daarvan overtuigde ik mij bij het wijzigen der spleetwijdte van den collimator. Zoodoende werd gevonden :

Spleet in honderdsten van een millimeter.					
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a'</i>	<i>b'</i>	<i>c'</i>
nauw	wijd	nauw	4	50	3
29.6	28.7	29.1	29.8	28.8	29.6
29.2	28.7	28.8	30.1	29.1	29.2
29.1	28.8	28.8	29.7	28.8	29
28.9	28.9	28.9	29.8	29	29.5
29.1	28.8	29.3	29.9	28.8	29.3
28.9	28.7	29	30	29	29.8
29.2	28.7	29.2	29.8	28.9	29.8
29.2	28.7	29.1	29.5	28.8	29.9
29.3	28.7	28.8	30.1	28.8	29.9
29.3	28.9	28.9	30	28.9	29.6
gem.	29.18	28.76	29.87	28.89	29.56
$\lambda =$	0.498	0.493	0.506	0.495	0.502

De gemiddelde fout dezer waarnemingen bedraagt :

Randverdeeling: 0.144 0.072 0.15, 0.15 0.09 0.248

In golfengte: 0.0015 0.0008 0.0015 0.0015 0.0009 0.0035

$$\begin{aligned} \text{De invloed der intensiteit is} &= \frac{a + c}{2} - b = \lambda 0.004 \\ &= \frac{a' + c'}{2} - b' = \lambda 0.009. \end{aligned}$$

Voorts blijkt bij het meer heldere licht der roeksen van b en b' de gemiddelde fout geringer te zijn dan in de overige.

In een reeks bepalingen met telkens afwisselende spleetwijdte kwam de invloed der lichtsterkte even duidelijk aan den dag.

Gelijk resultaat gaven ons de veranderingen der lichtsterkte door twee draaiende Nicols, terwijl instrument en lichtbron volkomen onveranderd bleven.

Maar ook de samenstelling van het licht heeft invloed op de ligging van N . In het gele gaslicht verplaatst N zich naar de warme zijde, — in betrekking tot daglicht 0.004 of meer. De oorzaak ligt dáárin, dat de kleur van zoodanig licht de maatstaf wordt van wit. Het kleurblinde oog wijst daarom als kleurloos ook de golf-lengte aan, die een gelijken indruk maakt als dat gele licht. En dat men spoedig dien maatstaf kiest, wordt daardoor bewezen, dat hetzelfde gaslicht, op het prisma teruggekaatst, in de oculair-spleet aan N gelijk is. Zoo gaat het met ieder gekleurd licht, waarin men verblijft. Wanneer op verschillende dagen de bepalingen van N uiteenloopen, zoo ligt de grond daarvan in de verschillen van samenstelling. Langs dezen weg zouden kleurblinde oogen het best over die verschillen kunnen oordeelen.

Het omgekeerde kan voorkomen, wanneer men, in het daglicht verkeerende, gekleurd licht, bijv. gaslicht, door de spleten van den collimator laat invallen. N is dan een weinig naar de koele zijde verschoven. Men had dit niet verwacht. Is het witte daglicht de maatstaf van N , waarom zou hier dan niet dezelfde golf-lengte als N worden bepaald? De reden is deze, dat diffuus licht in onze spectroscopen niet geheel te vermijden is. Verbreidt zich nu eenig warm licht over de neutrale, dan moet ze, om aan wit gelijk te zijn, iets naar de koele zijde verschoven worden. Dat

werkelijk het diffuse licht hier in 't spel is, blijkt uit proeven, waarin men het afwisselend meer en minder toelaat. Een kleine hoeveelheid blijft onmerkbaar.

Wat wij hier over den invloed der samenstelling van het licht mededeelden heeft geen betrekking tot dien der intensiteit. Deze laatste staat in verband met de sensatie. Bij toenemende intensiteit wordt, voor het normale oog, wit licht warmer, bij afnemende koeler. Hetzelfde nu geldt van de enkelvoudige neutrale, voor den kleurblinde. Terwijl hij in hetzelfde licht verblijft, wordt de neutrale in het spectrum bij sterker licht eenigszins warm, bij zwakker licht eenigszins koel, en om zich neutraal te vertoonen, moet ze dus in tegengestelde richting verschoven worden: naar de warme zijde bij zwakker, naar de koele zijde bij sterker licht.

Behalve de neutrale enkelvoudige N van het spectrum, heeft de kleurblinde zijne samengestelde Nc, uit twee of meer verschillende golflengten gevormd. Op deze kan, zocals uit het boven (bl. 4) medegedeelde blijkt, de invloed der intensiteit zich zeer sterk doen gevoelen. Wij komen daarop terug, nadat wij de vergelijkingen der mengsels van W en K met de enkelvoudige kleuren van het spectrum zullen hebben behandeld. Daar zal ook de „Farbenmesser” van Rose ter sprake komen, waarin twee samengestelde neutrale $Nc = Nc'$ worden vergeleken.

9. *Vergelijking tusschen de enkelvoudige kleuren van het spectrum en de mengsels van W en K.* Ten behoeve dier vergelijking, worden, zooals wij zagen, gevorderd: één enkelvoudig verschuifbaar spectrum, twee vaste spectra, die de elkander dekkende componenten W en K leveren.

Hoe die te verkrijgen?

Het kleine dubbel-spectrocoop (zie fig. 1), dat ons vele goede diensten bewees, schiet hier te kort.

Evenmin beantwoordt het samengestelde ophthalmospectroscop van Glan ¹⁾ aan ons doel. Het heeft een collimator met twee spleten, een vaste en een bewegelijke, en van iedere spleet worden, door het inlasschen van een dubbelbrekend prisma, twee spectra verkregen, welker lichtsterkten zich door een Nicol laten regelen. Men kan nu een spectrum der bewegelijke spleet op een der onbewegelijke laten vallen en zodoende alle klouren in alle relatieve lichtsterkten vermengen; maar het enkelvoudige vergelijkingspectrum ontbreekt. Voor welke doeleinden het bruikbaar is, hebben Prof. Donders ²⁾ en Dr. Glan ³⁾ zelf aangegeven. Wij hebben het slechts aangewend, om over verschil in saturatie te oordeelen, waarover later.

Ons doel werd bereikt met een spleet-toestel, die naar aanwijzing van Prof. Donders werd geconstrueerd. Hij heeft twee gekoppelde spleten, naast elkander, en een enkelvoudige, onder deze gelegen. Als dekstuk der collimatorbuis gebruikt, levert de enkelvoudige spleet het bewegelijke spectrum en de gekoppelde de twee spectra, die gelegenheid geven, alle kleuren in iedere proportie en bij iedere intensiteit te vermengen.

10. *Beschrijving van den spleet-toestel* ⁴⁾ van Donders. Hij bestaat uit twee stukken (zie de bijgevoegde *Plaat*):

I. Het onderstuk, met de enkelvoudige spleet.

II. Het bovenstuk, met de twee (gekoppelde) spleten.

De lijn *a a'* is de grens tusschen I en II.

1) Bericht über die wissenschaftliche Instrumente auf der Berl. Ausstellung 1879. S. 394. Berlin.

2) Kon. Akademie van Wetenschappen. Proces-verbaal der zitting van 26 Februari 1881.

3) Archiv für die gesammte Physiologie. B. XXIV. S. 307.

4) De teekening heeft Prof. Donders aan de goedheid van Prof. J. A. C. Oudemans te danken.

Elk stuk bestaat uit twee lagen, een achterlaag en een voorlaag. De achterlaag vormt een enkele plaat, waarop de leiders van de platen der voorlaag bevestigd zijn. Deze nu, op de afbeelding naar den beschouwer gekeerd, hebben wij nader te beschrijven. De beschrijving geldt dus de *voorlaag*. De achterste of grondlaag G is slechts voor een klein gedeelte ter zijde zichtbaar.

I. *Het onderstuk* heeft (als voorlaag) twee zijplaten, een rechter P_1 en een linker P_1' , met breede insnijdingen D en D' , bevattende elk een zwaluwstuk l_1 en l_1' , waardoor de armen $P_1 - P_1 -$ en $P_1' - P_1' -$ der respectieve zijplaten zijn opgesloten. Tusschen de twee zijplaten blijft de spleet f_1 over.

Elk der zijplaten draagt een blokje b_1 en b_1' , bestaande ieder uit een bovenplaat p' en een onderplaat pp , zijnde deze door de schroeven $s_1 s_1$ op P_1 en P_1' bevestigd.

Door de beide blokjes gaat een en dezelfde as $A_1 A_1$, in b_1 en b_1' voorzien met een schroefdraad van tegengestelde richting, loopende in b_1 rechts en in b_1' links.

Door de schroeven $s_2 s_2$ is p' op pp bevestigd en wordt nauwkeurige sluiting der schroeven van $A_1 A_1$ in de moeren der blokjes verkregen.

Door draaien aan den gekartelden knop R_1 , die met zijn conisch kanaal op de as $A_1 A_1$ sluit, bewegen zich de beide platen P_1 en P_1' , en wel symmetrisch naar of van elkander, waarbij de spleet f_1 vernauwd, resp. verwijd wordt, zonder dat de middellijn der spleet van plaats verandert. De wijidte der spleet wordt, met een index op k , op de trommel T_1 in honderdsten van millimeters afgelezen. De trommel, die om de as $A_1 A_1$ draait, kan, als de spleet gesloten is, op nul worden gezet en door het schroefje s_3 bevestigd. De as $A_1 A_1$ wordt op hare plaats gehouden door hare kogelvormige verdikking k , die in eene kogelvormige holte van het stuk i opgesloten is.

Door den boog van Vierordt V kan, evenals in het ophthalmo-spectroscoop van Glan, het onderstuk I in zijn geheel, met de voorplaat OO , en dus ook de spleet f_1 , over een uitgebreidheid van 16 mm., op de lijn aa' , voorbij het bovenstuk II worden heen en weer bewogen. De stand der spleet f_1 wordt daarbij op de randverdeling V' afgelezen.

II. Het *bovenstuk* draagt de beide gekoppelde spleten f_2 en f_2' . Het bestaat uit een middelplaat mm en twee zijplaten P_2 en P_2' .

Het onderste gedeelte der middelplaat mm vormt de binnenranden der beide spleten. Het hogere gedeelte draagt een blokje b_2 (gelijk aan b_1 van I), dat rechts en links slechts een smal randje van m zichtbaar laat, en het daarboven uitstekende bredere gedeelte van m zet zich voort in de armen $m-m'$.

De twee zijplaten P_2 en P_2' strekken zich uit ter zijde van m en vormen de respectieve buitenranden der gekoppelde spleten. P_2 draagt een blokje b_2 , gelijk aan b_2 der middelplaat, beide tot opneming der as $A_2 A_2$, die, evenals $A_1 A_1$ van I, met schroefdraden in tegengestelde richting gesneden is. Met P_2 is P_2' verbonden door een dikke verborgene stift SS' , die bij S in de plaat P_2 is vastgeschroefd en waarop bij S' de plaat P_2' door de schroef s_4 met de hand is vastgezet.

De beide zijplaten P_2 en P_2' bewegen zich dus, bij het draaien aan den gekartelden knop R_2 , als één geheel, en wel in tegengestelden zin als de middelplaat mm . Bij die beweging, vernauwt zich f_2 evenveel als f_2' zich verwijdt, en omgekeerd, blijft dus de som der beide spleten gelijk en wordt de ééne = die som, als de andere = nul, zonder plaatsverandering van de middellijnen der spleten.

De som der beide spleten kan men wijzigen, door de plaat P_2' over de stift SS' te verschuiven, hetgeen met de

hand aan den knop der schroef s_4 geschieden kan, als men deze voldoende heeft losgeschroefd.

Om die som juist te kennen, draait men R_2 , tot f_2 geheel gesloten is, schuift P_2' tegen $m m$, waarbij ook f_2' gesloten wordt, en draait vervolgens R_2 in tegengestelden zin, tot de trommel de verlangde som aanwijst. Daarbij is dan $f_2 =$ die som en $f_2' =$ nul. In dezen stand schroeft men den knop s_4 weer vast en kan nu, draaiende aan den knop R_2 , de verkregen som naar goedvinden over f_2 en f_2' verdeelen.

De onderlinge afstand der gekoppelde sploten wordt bepaald door de breedte der middelplaat m . Hoe breeder ze is, des te meer zijn de spectra over elkander verschoven. Zij is slechts door twee schroeven bevestigd en kan bij iedere reeks proeven door een andere vervangen worden.

Boven ligt de leider $l_2 l_2$, waartegen de armen der middelplaat $m-m'$ -zwaluwstaartsgewijs aansluiten; $l_{2''} l_{2''}$, zijn de leiders voor de armen P_{2-} en P'_{2-} der zijplaten, terwijl $l_2 l_{2'}$ voor beide platen dienen. Al die leiders zijn met schroeven op de grondlaag bevestigd.

De knopschroeven $s_3 s_3$ op het bovenste gedeelte der middelplaat, zijn bestemd tot bevestiging van twee schuifjes (gelijk aan schuifje $x x x$ van het onderstuk), dienende tot geheele of gedeeltelijke bedekking van elk der sploten: de schuifjes zijn, om de achtergelegene deelen zichtbaar te maken, van de teekening weggelaten.

Eindelijk $r r$ is een smal reepje, door twee schroefjes $s_6 s_6$ op de leiders $l_{2''} l_{2''}$ der middelplaat vastgehecht, en dienende, om de spectra van de enkelvoudige en van de gekoppelde sploten te scheiden.

Het werktuig is gebleken in dezen vorm aan het doel

te beantwoorden. Men moet echter bijzonder acht geven op de aanwijzing der trommel, waarbij de spleten sluiten en zich van die sluiting met sterk licht verzekeren. Geringe, soms onbekende oorzaken kunnen daarin reeds een kleine wijziging teweegbrengen. Daarom moet men telkens het nulpunt der trommel controleeren, die, zooals men zal hebben begrepen, verschuifbaar is.

11. *Vrije gekoppelde spleten.* Een bezwaar blijft er over: het verwisselen der middelplaat, zoo dikwijls men den onderlingen afstand der gekoppelde spleten wil wijzigen. Het is des te grooter, omdat met de vaak gewenschte veranderingen van de som der spleetwijdten die afstand ook verandert. Bovendien is het voor de vergelijkingen der saturaties van verschillende golflengten wenschelijk, den onderlingen afstand der spleten gaandeweg te kunnen wijzigen.

Professor Donders werd daarom te rade, de gekoppelde zoo te laten inrichten, dat ze als vrije gekoppelde ieder afzonderlijk verschuifbaar zijn. De uitvoerige beschrijving dier inrichting laten wij achterwege. Om er zich een voorstelling van te maken, denke men zich de middelplaat *mm*, met een tusschenlaag, waarop ze rust, verticaal in het midden doorgesneden en gesamenlijk op een grondlaag gebracht, die de spleten vrijlaat. Men heeft dan twee middelplaten, zoo goed als twee zijplaten; en, evenals een van de zijplaten (verg. *S S'*), kan hier een van de middelplaten (en wel de linker) over een stift, die de helften verbindt, verschoven en met een schroef daarop bevestigd worden. Ter rechter zijde is de stift in de middelplaat vastgeschroefd.

Het indringen van licht tusschen de uiteenwijkende middelplaten is voorkomen door een zeer dun samenge-

vouwen plaatje, dat de middelplaten verbindt en zich bij het uiteenwijken van deze ontplooit.

Ieder der gekoppelde wordt nu door haar eigen sleutel (een gekartelden knop) bewogen, en met dezen op de verlangde golfengte gebracht. Daarbij maakt men gebruik van de aanwijzingen der enkelvoudige. Deze stelt men, namelijk, op de bedoelde golfengte, af te lezen op de randverdeeling V' , en brengt de respectieve gekoppelde daarmede op één lijn, eerst de rechter, — daarna ook de linker, na eerst, op de wijze als boven bij de vaste beschreven werd, de som der spleetwijdten te hebben geregeld. Aan nauwkeurigheid laat die methode niets te wenschen over, vooral wanneer men het dekstuk van de buis neemt en de sploten naar het licht keert; want, had men de enkelvoudige op de N -lijn gesteld, dan vertoont deze zich ook in het midden der gekoppelde.

Men forceert het instrument, wanneer men met den sleutel der eene of andere helft den onderlingen afstand der spleten wil veranderen, zonder de schroeven der stiften, die de beide helften verbinden, te hebben losgemaakt; en evenzoer, wanneer men de relatieve wijdten der spleten wil veranderen, terwijl zij- of middelplaat op de tusschenlaag bevestigd zijn.

Om zich voor dat forceeren te hoeden, is het geraden, de sleutels der beide helften er af te nemen, zoodra men de spleten op den gewenschten afstand gebracht heeft.

12. *Het spectroscop en de spectra.* Beide spleet-toestellen kunnen als dekstuk met een gewoon spectroscop verbonden worden. Uit het ophthalmo-spectroscop van Glan verwijderden wij dubbelbrekend prisma en Nicol, voorzagen het met fijne verdeelingen en brachten eenige wijzigingen aan, waardoor het voor ons doel geschikt werd.

De collimator-buis is vast verbonden met de ronde centrale plaat, die het prisma draagt, en om het middelpunt dier plaat, die een randverdeeling heeft, draait de oculair-buis met nonius. Deze buis wordt nu zoo gericht, dat bij het bewegen der lichtspleet (wat met den boog van Vierordt geschiedt) het geheele spectrum, van A tot HH, in volle helderheid, horizontaal dwars door de as der oculair-buis wandelt en de verticaal daarop staande oculair-spleet passeert. Met de lichtspleet tegenover het midden der collimator-buis, ligt de Neutrale lijn van den kleurblinde $\lambda = 0.503 \mu$ juist in het midden der oculair-spleet, ongeveer onder het minimum van afwijking.

De oculair-lens wordt zoo gesteld, dat men, met het oog vlak er voor, zonder bril, de randen der spleet scherp ziet, en in het vlak dier spleet bringe men, bij weggeshoven platen, nu ook het spectrum. Dit is bij verschillende combinaties der lengten van collimator- en oculair-buis te verkrijgen, waaruit men te kiezen heeft; maar men is streng gebonden aan de eens gedane keuze, omdat iedere verandering de grootte der spectra en daarmee de elkander dekkende golflengten wijzigt. De spectra der gekoppelde spleten liggen wel iets buiten het minimum van afwijking, maar de Fraunhofersche strepen zijn (van ieder afzonderlijk), tegelijk met die van het enkelvoudige, toch scherp genoeg te zien.

Randverdeeling op den boog. Om te bepalen, aan welke golflengten de randverdeeling van den boog van Vierordt beantwoordt, worden de cijfers afgelezen, waarbij de Fraunhofersche en andere bekende strepen zich in 't midden der oculair-spleet vertoonen. Zet men die cijfers als ordinaten af op een interferentie-spectrum en vereenigt men de uiteinden dier ordinaten door een kromme, dan geven, omgekeerd, de lengten der ordinaten de corresponderende

golfengten op de as de rabsissen aan. Gemakshalve vereenigt men die op een tabel, die dan dienen kan, zoowel om de aanwijzingen van den boog in golfengten af te lezen, als om aan den boog den stand te geven voor iedere gewenschte golfengte. Dat wij daarvan gebruik maken, om ook de gekoppelde spleten op de gewenschte golfengte te stellen, hebben wij vroeger reeds gezien. Die gekoppelde moeten ons de componenten W en K leveren.

13. *Keuze en bepaling der componenten.* De grootste saturatie van W en K vinden wij nabij de uiteinden van het spectrum. Bovendien kunnen wij directe vergelijkingen alléén maken met de tusschen de componenten W en K gelegen kleuren van het enkelvoudige. Om beide redenen kiezen wij de componenten zoo dicht mogelijk nabij die uiteinden; maar de gevorderde lichtsterkte maakt, dat we met de koele toch niet verder kunnen dan G, met de warme niet verder dan $D\frac{1}{2}$ C voor roodblinden, $C\frac{1}{2}$ B voor groenblinden, en liefst nemen we bij vergelijkende bepalingen toch ook de warme voor beide gelijk. De gekozene W en K (waarvoor men donkere strepen vermijdt) worden achtereenvolgens met den boog van Vier ordt overgebracht op de enkelvoudige spleet en van deze, op de bovenvermelde wijze, op de gekoppelde.

Inmiddels werd de som der spleetwijdten geregeld, naar gelang der helderheid van het beschikbare licht en der gevorderde scherpte, op 0.5 à 2 m.m.

Met het bepalen van de aanwijzing der trommel, waarbij elk der gekoppelde spleten zich sluit, is ook de som der spleten nog eens gecontroleerd.

14. *Waarneming en berekening der resultaten.* De spleten worden gericht op een gelijkmatig verlicht vlak, bijv.

kleurloos mat geslepen glas, door een groot stuk hemel verlicht, of een wit vlak, voortdurend door de zon beschienen, — beide niet veel grooter dan noodig is, om het maximum licht rechtstreeks op de lens der collimatorbuis te zenden. Het vertrek mag matig verlicht zijn; volslagen duisternis is overbodig, zelfs niet wenschelijk.

In de onderste helft der oculair-spleet liggen de componenten op elkander en kunnen door draaien aan R_2 in alle proporties gemengd worden. In de bovenste helft brengt men nu door draaiing aan den boog achtereenvolgens de tusschen W en K vervatte kleuren van het enkelvoudige spectrum. Door draaiing aan R_2 maakt men de kleuren gelijk, door draaiing aan R_1 de intensiteiten, en herhaalt een en ander tot kleur en intensiteit beide gelijk zijn. Daarmede is een bepaling gedaan.

Men heeft nu nog slechts de wijfde der enkelvoudige en die der beide gekoppelde spleten af te lezen.

Wenschelijk is het in het algemeen, de bepalingen gelijktijdig bij twee kleurblinden te verrichten. Ze doen dan afwisselend ieder een waarneming. Dit heeft het dubbele voordeel, dat zij niet vermocid worden en elkanders vergelijkingen wederzijds beoordeelen. Bovendien zijn verschillende gevallen, strikt genomen, niet te vergelijken, tenzij de bepalingen bij hetzelfde licht geschied zijn.

In den regel gaan we eerst van W tot K, daarna van K tot W, en nemen de gemiddelden uit de twee bepalingen op dezelfde nummers van den boog van Vierordt. Bij geoefenden is een enkele reeks reeds voldoende. Fig. 4 wijst de resultaten aan, den 26 Juli 1881 door den heer Escher en mij in een enkele reeks verkregen. Om den gang van het onderzoek en de berekening der resultaten te leeren kennen, zal het voldoende zijn, een van beide uitvoeriger mede te deelen. Ik kies daartoe die van

Van Der Weijde, stelsel dichromatisch.

26 Juli 1881. Des voormiddags 10 ure. Spletten gericht op een mat geslepen wit glas, verlicht door een groot stuk ietwat somberen, maar vrij constanten hemel.

N op 18.29 = λ 0.4935 μ .

Gekoppelde W = λ 0.582; K = λ 0.4316. Som van de wijdden der gekoppelden = 2 mm.

Enkelvoudige spleet.				Gekoppelde spletten.					
<i>a.</i>	<i>b.</i>	<i>c.</i>	<i>d.</i>	<i>e. f. g. h.</i>				<i>i. j.</i>	
Volg-nummer.	Randverdeling Boog.	Golf-lengte $\lambda =$	Spleet-wijdde in 0.01 mm.	Spleet-wijdden in 0.01 mm. gevonden. ber. op $d. = 20$.				Reductie voor interf.-spectr.	
				W	K	W	K	W	K
				$\lambda = 0.582$	$\lambda = 0.4316$				
1	12	0.582 μ	200	200	0	20	0	14.3	0
2	13	0.572	151.5	200.5	0	26.46	0	20.1	0
3	14	0.557	126	197	3.5	31.28	0.56	26.3	0.5
4	15	0.541	115	195	5.5	33.92	0.96	31.2	0.9
5	16	0.523	119	178.2	22.3	30	3.74	30.6	3.8
6	17	0.509	147	158.5	42	21.56	5.72	24.4	6.5
7	18	0.498	207	131.5	69	12.7	6.66	15.5	8.1
8	19	0.485	203	82.5	117.5	8.22	11.64	11.1	15.7
9	20	0.476	177	38.5	162	4.36	18.3	6.3	26.4
10	21	0.467	142.5	21.5	179	3.02	25.12	4.6	38.4
11	22	0.459	124	13.5	187	2.18	30.16	3.5	48.6
12	23	0.449	144	3.5	197	0.48	27.36	0.8	47.6
13	24	0.4405	156	0	200.5	0	25.7	0	48.8
14	25	0.4316	200	0	200.5	0	20	0	41.6
15	27	0.417	200		81.5	0	8.16	0	19.3
16	29	0.407	200		38	0	3.8	0	9.7
17	30	0.402	200		14.8	0	1.48	0	3.9
18	11	0.617	200	68		6.8	0		
19	9	0.670	200	8		0.86	0		
20	8	0.702							

Alle licht verdwenen.

Een korte toelichting zal voldoende zijn. De kolommen a , b , c , d , behoorende tot de enkelvoudige spleet, geven de eene zijde der vergelijking: de golflengte c , namelijk, en de spleet-wijdte $Sw = d$. De kolommen e en f der gekoppelde spleten geven de andere zijde der vergelijking. — N^o. 1 is niets meer dan het uitgangspunt: $\lambda = 0.582 \mu$ en W de warme component, waaraan W der gekoppelde beantwoordt, beide natuurlijk met gelijke spleetwijdten van 200. N^o. 2, met $\lambda = 0.572$, is blijkbaar al veel lichtsterker; want de spleetwijdten zijn $= 151.5: 200.5$. Allengs zien we nu K toe- en W afnemen, en vinden bij 14, met $\lambda = 0.4316$, alle W verdwenen en daarmee $K = 200$. — Hiermede zijn de vergelijkingen gemaakt voor de tusschen W en K gelegen klouren. Wij onderzoeken nu nog verder de lichtsterkten, in 15, 16 en 17, en 18 en 19, resp. links van W en rechts van K , welke tonen nauwelijks van W en K verschillen.

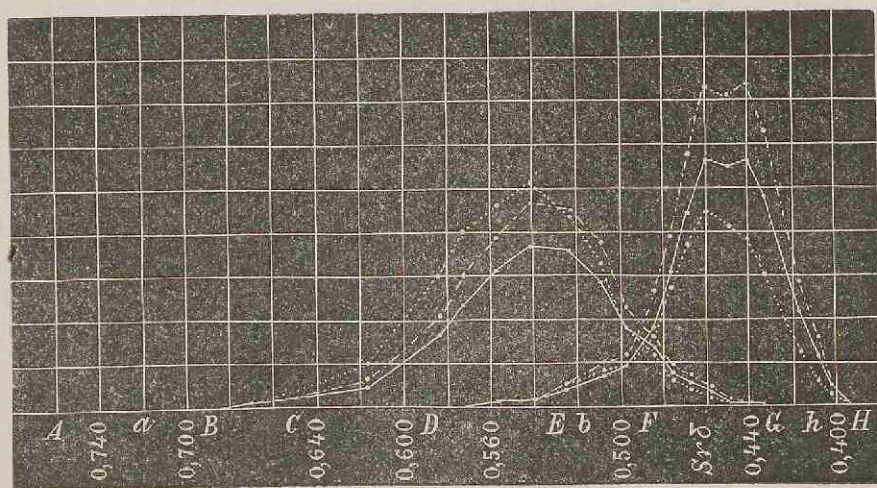
De cijfers van W en K zijn nu op gelijke spleetwijdten van d gereduceerd, en wel op 20 (zie *g. h.*), waarbij de getallen, als ordinaten, de gewenschte longten vertegenwoordigen. Eindelijk zijn deze onder *i.* en *j.* gereduceerd voor het interferentie-spectrum.

15. *De resultaten, in krommen gebracht.* Fig. 4 ver-
toont nu de intensiteiten in krommen, boven een interferentie-spectrum als abscis. De gestippelde heeft de cijfers van *g* en *h* als ordinaten, dus die van het dioptrische spectrum.

In overeenstemming met de abscis, moeten deze intensiteiten tot die van het interferentie-spectrum worden teruggebracht. Om daarvoor de noodige gegevens te hebben, zijn de onderlinge afstanden der voornaamste Fraunhofersche strepen van ons spectroscop, onder minimale afwijking,

in 't midden der oculair-buis met een bewegelijk diafragma gemeten. De afstanden, als ordinaten op een interferentie-spectrum afgezet, blijken nu voor gelijke verschillen in golflengte des te meer te stijgen, hoe kleiner de golflengten. Die stijgingen worden nu, op hare beurt, op een interferentie-spectrum afgezet, — die van λ 0.740 tot λ 0.700 op λ 0.720; die van λ 0.700 tot λ 0.660 op λ 0.680 enz. — en door een kromme vereenigd, en de ordinaten dezer kromme geven nu voor elke golflengte de coëfficiënten voor de gewenschte reductie der intensiteiten. De reductie bestaat eenvoudig dáárin, dat het verschil van breedte van de elementen op ieder punt der kromme door wijziging der hoogte wordt gecompenseerd. Ze is op fig. 4 als — . — . — . voorgesteld.

Fig. 4.



16. *Krommen met gelijke areas, onderling vergelijkbaar.* Voor W en voor K, ieder op zich zelf, zijn hiermede de intensiteits-krommen gevonden. Maar onderling vergelijkbaar zijn ze niet. De areas vertegenwoordigen elkan- der neutraliseerende hoeveelheden van *willekeurig gekozene* W en K. De verhouding der areas hangt dus af van

de lichtsterkten en de saturatie-graden der gekozen componenten, d. i. van hunne kleur-waarden. Is K constant, dan dalen de ordinaten van W met het stijgen zijner lichtsterkte en saturatie, en omgekeerd. De lichtsterkte is het vooral, die hier haren invloed doet gevoelen. Om tot het maximum der saturatie te naderen, kiezen we W en K niet ver van de uiteinden van het spectrum, en hier geven kleine verschillen in de keuze groote verschillen in intensiteit, nauwelijks verschil in saturatie. En dit laatste verwaarloozende, kunnen wij zeggen, dat in onze bepalingen de ordinaten grooter worden met het dalen der intensiteit, — voor W dus met het toenemen, voor K met het afnemen der golflengte.

Voor rood- en groen-blinden valt nu ook de verhouding der areas tot elkander zeer verschillend uit. Omstreeks D, en vooral links van D, wordt de intensiteit voor den roodblinde reeds zeer gering, en terwijl wij hier onze warme moeten kiezen, om er een van gesatureerde kleur te hebben, valt de area van W bij den roodblinde altijd betrekkelijk zeer groot uit. Op zich zelve is die uitkomst niet onbelangrijk. Bij K van constante golflengte kan men de krommen opzoeken met W van verschillende golflengten, en hieruit een aanwijzing putten voor de valentie dier verschillende golflengten, in lichtsterkte \times saturatie. En wanneer we in al onze bepalingen dezelfde golflengten van K en W bezigen, is de verhouding der areas al dadelijk kenmerkend voor den aard der kleurblindheid. Maar noch het eene, noch het andere hebben wij hier op het oog. Wat we verlangen is: ze met elkander en die van verschillende personen onderling gomakkelijk te kunnen vergelijken, en daartoe is het wenschelijk, ze beide, voor alle personen, tot gelijke areas terug te brengen. Daarmede

vertegenwoordigen gelijke ordinaten van W en K overal gelijke saturatie of neutraliseerend vermogen. Bij gebrek aan een planimeter, hebben wij de areas in bladtin uitgesneden, gewogen en door wijziging der ordinaten tot gelijk gewicht teruggebracht. Aldus komen de areas op fig. 4 voor, door de getrokken lijnen begrensd.

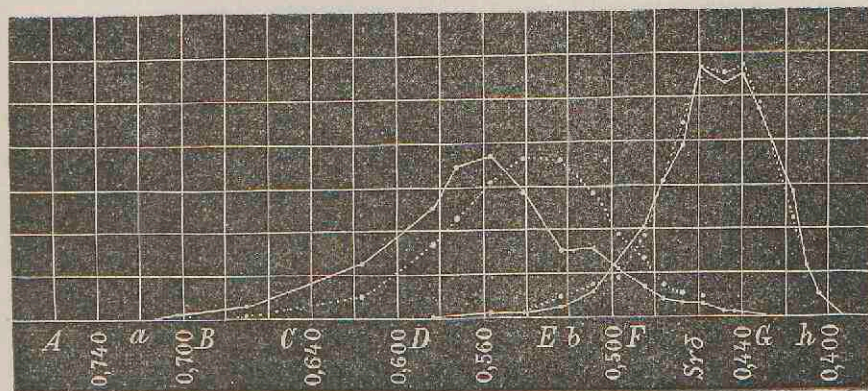
Bij gelijke areas nu moet de neutrale lijn N gelegen zijn, waar de beide krommen elkander overkruisen. Zij beantwoordt, namelijk, aan de golflengte, die de beide energieën in dezelfde verhouding wekt als het totale zonlicht, en dus waar de elementen der beide energieën evenredig zijn aan de energieën zelve,

$$\frac{dW}{W} = \frac{dK}{K}$$

dat is, bij gelijke areas, waar de ordinaten even lang zijn. In fig. 4 valt de kruising op $\lambda = 0.490$, wat weinig afwijkt van het directe resultaat van waarneming $\lambda = 0.487$.

Gelijke berekeningen en reducties werden gemaakt van de gelijktijdige waarnemingen van den heer Escher (Gb.), genomen met dezelfde componenten W en K , en de uitkomsten, met gelijke areas, hebben wij met die van van der Weijde vereenigd op fig. 5. In dezen vorm nu zijn ze geheel vergelijkbaar.

Fig. 5.



Bij vergelijking valt nu terstond in het oog, dat bij den groenblinde de kromme van W meer naar de roode zijde van het spectrum is verschoven. De intensiteiten dezer energie zijn, voor de beide personen, bij C als 1:5, bij D als 10:15, bij E als 18:8, bij F als 7.5:4. Ten aanzien van die der koele is het verschil blijkbaar veel geringer: alleen stijgt deze bij den roodblinde vroeger en zijn bij *b* van Fraunhofer de respect. intensiteiten = 2,4:4.2.

Zoo liggen de krommen van W en K bij den groenblinde meer uit elkander dan bij den roodblinde, en daarmede staat in verband, dat N bij den laatste veel lichtsterker is dan bij den eerste. Ook komt N bij den groenblinde iets meer naar *b* te liggen, in het geval van Es op $\lambda 0.501$, dat is ongeveer waar N door directe waarneming gevonden was.

17. *Betrekkelijke lichtsterkten der areas van W en K.* Bij de reductie tot interferentie-spectrum en tot gelijke areas, vertegenwoordigen gelijke ordinaten gelijke kleurwaarden. Maar van de lichtsterkten geldt dat in geen deele. Die van K is veel geringer dan die van W, en bovendien is die betrekking bij Escher eene andere als bij v. d. Weijde.

Om die betrekking ongeveer te kunnen, werden vergelijkingen gemaakt van de intensiteiten der beide componenten, de éene genomen van de enkelvoudige, de andere van een der gekoppelde. Uit de spleetwijdten nu volgde:

$$\text{Voor v. d. Weijde, } W : K = 17 : 1$$

$$\text{„ Escher, } W : K = 35.5 : 1$$

Gereduceerd op het interferentie-spectrum worden deze vergelijkingen:

$$\text{Voor We., } W : K = 5.84 : 1$$

$$\text{„ Es., } W : K = 12.2 : 1$$

Om ze nu verder op gelijke areas te reduceeren, raadplegen wij fig. 5. Hier vinden wij, op λ 0.582 en λ 0.432, de ordinaten resp. van W en K, en bij meting blijkt, dat *hare lengten*, na de bedoelde reductie, zich verhouden,

$$\text{voor We.,} = 1 : 2.85$$

$$\text{„ Es.,} = 1 : 1.81$$

Voor *gelijke lengten* (alzo ook voor de areas) wordt dus de verhouding:

$$\text{voor We., } i : i' = 5.84 \times 2.85 : 1 = 14.9 : 1$$

$$\text{„ Es.,} = 12.2 \times 1.81 : 1 = 22.1 : 1$$

Deze cijfers wijzen bij gelijke areas de verhouding der licht-intensiteiten aan, waarbij W en K elkander ver-zadigen.

Van die cijfers gebruik makende, zou men over het geheele spectrum de lichtsterkten der beide energieën kunnen samentellen, en zodoende, op indirecte wijze, de krommen der lichtsterkten verkrijgen, die wel de voorkeur zouden kunnen verdienen boven de rechtstreeks verkregene (fig. 5). Bij vergelijking is ons gebleken, dat die van Es. nog al aanzienlijk van elkander afwijken. Bij v. d. W. is alleen aan de koele zijde van het spectrum de lichtsterkte der indirect verkregene wat grooter.

18. *De relatieve saturatie van W en K.* Eerst nabij de grenzen van het spectrum krijgen, zooals wij zagen, W en K hun maximum van saturatie. Maar als componenten kunnen wij hiervan geen gebruik maken, omdat ze geen voldoende lichtsterkten hebben. Wij bepaalden onze keuze tot W van λ 0.582 en tot K van λ 0.4316, die uit beide oogpunten schenen te voldoen. Bij λ 0.4316 wordt nu W = nul en bij λ 0.582, omgekeerd, K = nul. De krommen geven daardoor den schijn, alsof van de

genoemde golflengten tot de respectieve uiteinden van het spectrum slechts ééne energie werkzaam ware en de saturatiegraden dus verder onveranderd bleven. Dit is echter niet alzoo: de saturatiegraden blijven stijgende, die aan de roode zijde misschien tot aan het uiteinde. Voor onzen groenblinde Es. was voorbij D die stijging echter zwak. Dikwijls noemde hij, bij directe vergelijking, de saturatiegraden gelijk, zelden zag hij een duidelijk verschil en hij vergiste zich zelfs wel een enkele maal, de minder breekbare meer gesatureerd noemende. Bij mij daarentegen, als roodblinde, sprong het verschil duidelijk in het oog, in die mate zelfs, zooals reeds gezegd werd, dat ik aanvankelijk in spectraal rood en spectraal geel twee verschillende kleuren meende te herkennen.

Tot nadere vergelijking werd het ophthalmospectroscop van Gian gebezigd. Behalve den boven (bl. 18) beschreven collimator, draagt het een bijzondere buis, waarlangs men wit licht kan laten invallen en door twee Nicols naar goedvinden kan temperen. Terwijl nu in de oculairspleet twee kleuren (van twee spectra), de eene boven de andere, zichtbaar waren, bijvoorbeeld D en C, kon ik, door het witte licht op C te richten, beide op gelijke saturatie brengen en, de lichthoeveelheid der spectrale kleur wijzigende, ook op gelijke intensiteit. Daarmede stonden de kleuren volkomen gelijk en kwam dus overtuigend aan den dag, dat van een specifiek kleurverschil tusschen D en C bij mij geen sprake zijn kon. De schorpste uitkomst verkreeg ik, door óf iets te veel óf iets te weinig licht, totdat het even merkbaar werd, op de meest gesatureerde te werpen en uit de daartoe gevorderde hoeveelheden de gemiddelde te nemen.

Om twijfelachtige verschillen van saturatie zichtbaar te

maken, onderzochten wij ook, welke der beide kleuren de kleinste hoeveelheid wit licht behoefde, om stellig minder gesatureerd te zijn dan de andere.

Het algemeene resultaat kwam daarop neer, dat bij λ 0.608 reeds bijna, maar bij λ 0.630 het maximum toch nog niet volkomen bereikt was. Voor minder breekbaar licht was bij mij, zonder al te wijde spleet, de lichtsterkte te gering, om een zeker oordeel te vellen.

Aan de koele zijde lag, bij helder licht, het maximum op λ 0.420. Gingen wij nog verder in het violet tot 0.408 en 0.402, dan nam de saturatie weer een weinig af.

De toenemende saturatie buiten de grenzen van W en K was nu gebleken. Maar om de relatieve saturatiegraden van W ($= \lambda$ 0.582) en K ($= \lambda$ 0.4316) te kunnen berekenen, hadden wij ook quantitatieve bepalingen noodig. Deze gaven nu vergelijkingen van den vorm:

$$p (\lambda > W) + q K = r W$$

$$\text{of } p (\lambda < K) + q W = r K$$

De golflengten van de linkerzijde der vergelijking verkregen wij met de gekoppelde spleten, die der rechterzijde met de enkelvoudige.

Zie hier de uitkomsten:

v. d. W. Daglicht. Warme zijde.

$$90 \quad \lambda \text{ 0.600} + 5.1 K = 53 \quad W$$

$$90.8 \quad \lambda \text{ 0.620} + 4.3 K = 29.5 \quad W$$

$$89.1 \quad \lambda \text{ 0.640} + 6 \quad K = 16 \quad W$$

Berekend voor 100 W bevatten:

λ	0.582	0.600	0.620	0.640
K	0	10	15	38

Om de hoogere golflengten bij betrekkelijk grootere lichtsterkte waar te nemen, maakten wij ook bepalingen met *gaslicht*:

$$54.7 \lambda 0.600 + 39.8 K = 40.8 W$$

$$65.2 \lambda 0.620 + 29.3 K = 25.8 W$$

$$67.1 \lambda 0.630 + 27.4 K = 17.7 W$$

$$79 \lambda 0.640 + 15.5 K = 7.7 W$$

Op 100 W bevatten:

$$\lambda \quad 0.582 \quad 0.600 \quad 0.620 \quad 0.630 \quad 0.640$$

$$K \quad 0 \quad 97.5 \quad 113.6 \quad 154.9 \quad 201.3$$

De hooge cijfers van K op 100 W zijn toe te schrijven aan de geringe lichtsterkte van K, in gaslicht.

v. d. W. Daglicht. Koele zijde. W, door een grijs glas op $\frac{1}{11}$ gereduceerd.

$$100.7 \lambda 0.420 + 9.3 W = 73.2 K$$

$$104.2 \lambda 0.410 + 5.8 W = 38.7 K$$

$$106.8 \lambda 0.400 + 3.2 W = 5 K$$

Berekend voor 100 K, bevatten:

$$\lambda \quad 0.4316 \quad 0.420 \quad 0.410 \quad 0.400$$

$$W \quad 0 \quad 12.9 \quad 15 \quad 64$$

Zoowel aan de warme als aan de koele zijden werden, bij een andere gelegenheid, door Escher en van der Weijde vergelijkingen gemaakt. Wij vonden:

Zwak daglicht. Warme zijde.

$$\text{We. } 196 \lambda 0.657 + 4.5 K = 6 W$$

$$\text{Es. } 196 \lambda 0.657 + 4.5 K = 34.5 W$$

Op 100 W bevat $\lambda 0.657$:

$$\text{bij We. } K \quad 75$$

$$\text{Es. } K \quad 13$$

Veel minder verschil dus in saturatie tusschen $\lambda 0.657$ en $\lambda 0.582$ bij den groenblinde dan bij den roodblinde.

Helder gaslicht. Koele zijde.

$$\text{We. } 195 \lambda 0.408 + 5 W = 118.5 K$$

$$\text{Es. } 192 \lambda 0.408 + 8 W = 105 K$$

Op 100 K bevat λ 0.408:

bij We.	W	4
Es.	W	8

De vergelijking aan den warmen kant werd bij gaslicht niet gemaakt, omdat Es. verklaarde bij grooter golflengte dan W geen grootere saturatie te zien.

In het algemeen bevestigen deze uitkomsten, wat met het ophthamo-spectroscop van Glan gevonden werd. Wijzen de cijfers voor λ 0.400 een hooger en wel een veel hooger verzadigingsgraad aan dan die van λ 0.410, zoo moge dit aan de zeer geringe lichtsterkte der vergelijking (zij bedroeg niet meer dan 5 K) worden toegeschreven.

19. *Berekening der saturatie.* Wij hebben boven gezien, dat de neutrale N ligt, waar

$$\frac{d W}{W} = \frac{d K}{K}$$

Bij gelijke areas, $W = K$, moet dus N komen te liggen waar

$$d W = d K$$

d. i., waar, met gelijke ordinaten, de krommen elkander snijden. Op dit punt neutraliseeren elkander de beide tegengestelde of complementaire kleuren, als aequivalenten, en de saturatie wordt dus nul, daar $d W - d K = 0$.

Wij kunnen nu ook voor andere golflengten den saturatiegraad uit onze krommen afleiden.

Saturatiegraden zijn de kleurwaarden, gedeeld door de lichtintensiteiten.

Waar slechts één onzer componenten werkzaam is, bij $w = \lambda$ 0.582 en bij $K = \lambda$ 0.4316, hebben wij dus

$$S_w = \frac{d W}{i d W} = \frac{1}{i} \text{ en } S_k = \frac{d K}{i' d K} = \frac{1}{i'}$$

Waar beide componenten werkzaam zijn, kan de warme energie domineeren, $d W > d K$, of de koele, $d K > d W$.

In het eerste geval nu is de formule

$$S_w = \frac{d W - d K}{i d W + i' d K}$$

In het tweede

$$S_k = \frac{d K - d W}{i' d K + i d W}$$

Boven (bl. 33) vonden wij, dat voor van der Weijde, bij gelijke areas, en dus ook voor gelijke ordinaten, $i : i'$ ongeveer = 15 : 1.

De formules, voor *éne* componente, worden dus:

$$S_w = \frac{d W}{15 d W} = \frac{1}{15} \quad \text{en} \quad S_k = \frac{d W}{d W} = 1.$$

Voor de beide componenten

$$S_w = \frac{d W - d K}{15 d W + d K} \quad \text{en}$$

$$S_k = \frac{d K - d W}{d K + 15 d W}$$

In cijfers, vinden wij op λ 0.510 (fig. 5) $d W = 28$, $d K = 7$.

Dus

$$S_w = \frac{28 - 7}{420 + 7} = \frac{21}{427} = \frac{1}{20}$$

Op λ 0.490 is $d K = 25$, $d W = 9$

en

$$S_k = \frac{25 - 9}{25 + 135} = \frac{16}{160} = \frac{1}{10}$$

Wij hebben ons hier veroorloofd, de licht-intensiteiten der complementaire kleuren W en K eenvoudig te addeeren en te substraheeren. De „Theorie der Gegenfarben”

behoefde ons daarvan niet terug te houden. Wij lezen bij Prof. Donders ¹⁾: „Two complementary spectrumcolours s and s' pass through two slits, illuminating the fundus of a dark-chamber: I found, if $s = s'$, also $\frac{s + s'}{2} = s = s'$.” ²⁾ En Bruecke ³⁾ kwam voor gekleurde papieren tot hetzelfde resultaat. Dit alleen houde men in het oog, dat W en K , in onze formules, geenszins sensaties s vertegenwoordigen, maar lichthoeveelheden of intensiteiten i . Dit geldt ook van $W : K$, als gevonden uit de spleetwijdten, waarbij de intensiteiten gelijk waren. Van sensaties zou men niet eenvoudig de som en het verschil mogen nemen. Immers, waar zij eene arithmetische reeks volgen, vertoonen de licht-intensiteiten ongeveer eene geometrische. Zoo althans vond Delboeuf ⁴⁾, onafhankelijk van alle theorie, bij het uitzoeken van overgangen, met gelijke contrasten, van wit tot zwart, — waarmede de overgangen van wit tot een gesatureerde kleur wel te vergelijken zijn. Men heeft zich de corresponderende sensaties der gevondene waarden dus ook als de logarithmen dezer laatste te denken.

20. *Berekening van de maxima van saturatie, en reductie der krommen op die maxima.* Wij hadden ons voorgesteld uit de vergelijkingen, in § 17 medegedeeld, de maxima

1) l. c. Cambridge. 1880.

2) De bijzonderheden der onderzoekingen, waarvan hier de uitkomst is vermeld, zullen nader worden medegedeeld.

3) Ueber einige Consequenzen etc. Ber. der K. Akad. der Wissensch. III Abth. 1881. S. 441.

4) Delboeuf. Etude psychologique. Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations et spécialement des sensations de lumière et de fatigue. Bruxelles. 1873.

van saturatie S en S' te berekenen en de krommen van W en K tot die maxima te reduceren.

Uit de proeven, met het ophthalmo-spectroscop van Glan genomen, was gebleken, dat bij λ 0.630 het maximum bijna bereikt was: bij λ 0.640 mochten wij het dus wel bereikt achten.

In de vergelijkingen, bij daglicht door den roodblinde (We) genomen, komt voor, dat, om λ 0.640 gelijk W te maken, voor 100 W , 38 K moeten worden toegevoegd.

Voorts was gezien, dat de neutrale N uit $K + 2$ wordt gevormd. Iedere K vertegenwoordigt dus als kleurwaarde 2 W , en 38 K wordt dus 76.

Zoo zouden 100 W niet minder dan 76 K bevatten, en iedere ordinaat van W zou moeten gesplitst worden in K 76 en (W 100 — 76 : 15 =) 95 W . Die uitkomst scheen bijna ongerijmd. Voor den groenblinde zou de reductie geen bezwaar hebben opgeleverd. Voor dezen toch vonden wij in één der vergelijkingen voor 100 W slechts 14 K bij λ 0.658, waarmede zeker de volle saturatie bereikt was, en voor de drie energieën van het normale oog heeft Prof. Donders de reductie reeds toegepast. Maar voor den roodblinde was er niet aan te denken, en wij hebben ze dus eucumin voor den groenblinde gemaakt, wiens kromme wij met die van den roodblinde hadden te vergelijken. Onze krommen geven dus slechts aan, uit welke hoeveelheden W en K , bij de hun toekomstige saturatiegraden, de tusschengelegene enkelvoudige kleuren gevormd worden.

Het lag voor de hand, de vreemde uitkomsten bij den roodblinde aan de geringe lichtsterkte der weinig breekbare stralen toe te schrijven, waarbij de vergelijkingen moesten plaats hebben. Die geringe lichtsterkte was uit de vergelijkingen gebleken. Voor de spleetwijdte van 90 λ 0.600 en

van 5.1 K kregen we voor W nog een spleetwijdte van 53; maar bij de vergelijking van $89.1 \lambda 0.640 + 6$ K zien wij ze op 16 teruggebracht.

Om nu te zien, of onze onderstelling juist was, maakten wij, bij verschillende lichtsterkten, vergelijkingen van dezelfde gemengde (en wel van een der bovenstaande) met W, namelijk van

$$\lambda 0.620 + K = W.$$

Het verschil van lichtsterkte werd verkregen door twee groote draaiende Nicols, bij 90° en 25° (hoeveelheden = 1:0.18), onmiddellijk voor de spleten van den collimator geplaatst; en de relatieve veranderingen ten aanzien van saturatie en intensiteit werden dus waargenomen bij volkomen evenredige wijziging der lichthoeveelheden, zonder meer.

Wij constateerden nu al aanstonds, dat, in de bij zwak licht gemaakte vergelijking, onder sterk licht, de enkelvoudige W, zoowel in saturatie als intensiteit, de gemengde ($\lambda 0.620 + K$) ver overtrof en in saturatie bleef overtreffen, wanneer door vernauwing der enkelvoudige spleet de intensiteiten waren gelijk gemaakt; terwijl, omgekeerd, in de bij sterk licht gemaakte vergelijking, bij lichtverzwakking, de gemengde heller en meer gesatureerd werd, om meer gesatureerd te blijven, als de intensiteiten werden gelijk gemaakt.

De gemiddelde uitkomst was:

	W	K	$\lambda 0.620$
sterk licht	25.75	= 75	+ 62
zwak „	11.2	= 110	+ 27

Het komt hierbij alléén aan op de verhouding van K : $\lambda 0.620$, gevende:

voor sterk licht	75 : 62	= 1.2
voor zwak licht	110 : 27	= 4.

Het is dus boven twijfel verheven, dat in de vergelijkingen van

$$p (\lambda > W) + q K = r W$$

het verschil der lichtsterkten een grooten invloed had, en wel in dien zin, dat bij afnemende lichtsterkte K stijgende was.

Men zal zich herinneren, dat ik aanvankelijk de warme bij Fraunh. C voor eene andere kleur hield dan bij D en E, en dat ik getroffen was, in het spectrum van direct zonlicht van een bijzonder rood niets meer te zien. De verklaring blijkt nu wel deze te zijn, dat bij het sterke licht de hooge saturatie-graad is opgeheven, die zich als een andere kleur aan mij had voorgedaan.

In verband met het in deze § behandelde, zij hier nog opgemerkt, dat wij ook de krommen der beide energieën rechtstreeks hebben afgeleid uit de vergelijkingen der enkelvoudige spectraalkleuren met λ 0.625 en λ 0.445 — de warme dus veel meer, de koele veel minder gesatureerd dan de doorgaans gebezigde (λ 0.582 en 0.432, fig. 4). In die combinatie nu woog de hoogere saturatie der warme kleur geenszins op tegen hare geringere intensiteit, en bij zeer hooge ordinaten der warme energie, vielen die der koele voor het dioptrische spectrum dus zeer laag uit. De nauwkeurigheid der uitkomsten moest daaronder lijden; maar ontwijfelbaar, ook zonder reductie op gelijke areas, kwam toch aan den dag, dat de koele energie zich hier reeds bij grootere golflengte begint te verheffen en in het warme gedeelte van het spectrum, tegenover het maximum der intensiteit, eene locale stijging vertoont, waarop een tweede stijging in het koele gedeelte van het spectrum volgt. En juist denzelfden vorm neemt die kromme aan, wanneer wij aan de met W en K verkregene ook slechts in beperkte

mate de correcties aanbrengen, waarvan in deze § sprake was, de correctie, namelijk, die voor een hoogere saturatie van W zou worden gevorderd.

21. *Invloed der lichtsterkte op de vergelijkingen in het algemeen.* Wat wij zagen omtrent $\lambda > W + K = W$ (zie § 20), is van toepassing op alle vergelijkingen eener enkelvoudige kleur met een mengsel van $K + W$, onverschillig van welke golflengte: zij gelden slechts voor een bepaalde lichtsterkte.

Vermeedert men evenredig de lichtsterkten bij een verkroegen vergelijking, dan wordt de gemengde warmer, resp. minder koel, dan de enkelvoudige, en omgekeerd, wanneer men de lichtsterkten vermindert. De evenredige verandering der lichtsterkten kan men op verschillende wijzen verkrijgen: door directe wijziging der gemeenschappelijke lichtbron, door het gebruik van gelijkmatig absorberende grijze glazen, het zuiverst door draaiende Nicols. Kon men de drie spleten op hetzelfde oogenblik evenredig vernauwen en verwijden, dan zou het effect insgelijks te zien zijn.

Eenige quantitative bepalingen mogen hier plaats vinden:
a. *betreffende* $W + K = N$.

Voor gaslicht werd gevonden:

$$W 28 + K 175 = N 26.$$

Bij reductie van het licht op $\frac{1}{16}$, met grijs plaatje:

$$W 19 + K 184 = N 28.1$$

Dus een aanzienlijke vermindering van W, niettegenstaande N ook warmer geworden was (verg. bl. 15)

In een tweede reeks (daglicht), met draaiende Nicols, maakte door reductie van het licht,

$$W 173 + K 27 = N 37$$

plaats voor $W 142 + K 58 = N 20$.

Eene sterke stijging dus van koel in de gemengde.

Wat hier vergeleken wordt zijn twee neutrale kleuren van den kleurblinde, — het spectrale blauwgroen en een der gemengde, het rozerood, die wij als Ns en Ne kunnen onderscheiden. Deze ondergaan nu door wijziging der lichtsterkte tegengestelde veranderingen: bij verhoogde wordt Ne warm, Ns koel, en omgekeerd bij verminderde. Maar de verandering is voor Ns zeer gering, in vergelijking met die van Ne. Merkwaardig is het zeker, dat twee energieën, die men zich in Ns vertegenwoordigd denkt, een geheel andere functie zijn der lichthoeveelheden, als wanneer ze afzonderlijk optreden, onder den invloed van een kleinere en een grootere golflengte. En onbelangrijk is het zeker niet, dat ook voor een normaal kleursysteem Ns van den kleurblinde, bij verminderde intensiteit, blauwer, Ne, uit W en K verkregen, rooder wordt (Donders en Waelchli).

Wat wij hier omtrent spectraalkleuren mededeelden geldt bij den kleurblinde ook voor neutrale blauwgroene en rozeroode wollen strengen, welke laatste hij aan het kleurcontrast van licht en schaduw weet te onderkennen (verg. bl. 7).

b. Betreffende de vergelijkingen van $W + K$ met de enkelvoudige kleuren E van het spectrum. Een paar waarnemingen mogen daarvan worden medegedeeld.

Gaslicht van E (λ 0.548) = K (0.431) + W (λ 0.582), onder verandering der lichtsterkte i door draaiende Nicols. De gemiddelde uit een op- en neergaande reeks.

i	E	K	W	K:W
1.00	100	29.5	113.5	0.26
0.88	85	43.5	94.5	0.47
0.58	87.5	51.5	91.5	0.56
0.25	34.5	101	32	3.2

Blijkbaar is in de derde rij E = 87.5 te hoog: ware

E lager, dan zou K en dus ook K: W hooger zijn geworden en de stijging ware regelmatigiger geweest.

Minder sterk spreekt de invloed van i op de vergelijking eener koele, λ 0.469, met dezelfde $W + K$, als boven. Hier was, bij afnemende i , de relatieve intensiteit der enkelvoudige altijd grooter geworden, en daarmede de saturatie-graad geringer, en omgekeerd bij toenemende i . Maar werden de intensiteiten weer gelijk gemaakt, door verandering der spleetwijdte van E, dan stemden ook de saturaties nagenoeg overeen. De verandering der lichtsterkte door de Nicols scheen hier dus slechts in zoover invloed te hebben, als de relatieve intensiteiten er door gewijzigd worden.

De vraag ligt voor de hand, in hoever de invloed der lichtsterkte op vergelijkingen van mengsels uit den invloed op de sensaties der enkelvoudige te verklaren is; maar het antwoord stuit af op de moeilijkheid, om den laatstgenoemden invloed goed te bepalen.

22. *Invloed van de samenstelling van het licht op de vergelijkingen.* Die invloed behoeft wel niet te worden bewezen. Eenige reeksen van waarnemingen zullen echter niet overbodig zijn.

a. In de eerste plaats zij een reeks medegedeeld, waarin $N = W + K$ bepaald werd, terwijl bij vallenden avond, met sombere gelijkmatig bedekte lucht, de lichtsterkte allengs verminderde.

$N = K + W$	$N = K + W$
1 100 + 105	6 87 + 118
2 98 + 107	7 88 + 117
3 93 + 112	8 87 + 118
4 92 + 113	9 86 + 119
5 89 + 116	10 82 + 128

In weêrwil van de allengsche vermindering der licht-

sterkte, zien wij hier K : W regelmatig dalen: de veranderde samenstelling van het (steeds blauwer wordende) licht had dus een overwegenden invloed ¹⁾.

b. Hetzelfde kwam aan den dag, onder gelijke omstandigheden, in de vergelijking eener koele kleur met het gewone mengsel: $\lambda 0.465 = W 0.582 + K 0.4316$, waarbij W, om zijn relatieve sterkte, door een grijs glaasje getemperd was.

c. Maakt men vergelijkingen met gaslicht, zooals boven (bl. 27) voor daglicht zijn medegedeeld, dan komt het verschil in samenstelling dezer beide lichtsoorten zeer sterk uit. In onderscheiding van K en W voor daglicht, noemen wij die voor gaslicht Kg en Wg: wij hebben nu Kg : Wg met K : W te vergelijken.

Op 20 der enkelvoudige gereduceerd.

E	λ	Kg	Wg	K	W	Kg : Wg	K : W
20	0.449	43	0.2	27.4	0.48	215	57
	0.459	53	0.6	30.2	2.28	87	14
	0.469	58	1	25.1	3.02	58	8
	0.485			11.6	8.22		1.4
	0.489	63	3.6			17	
	0.498			6.7	12.7		0.5
	0.503	66	6.4			10	
	0.509			5.72	21.7		0.25
	0.531	50	19			2.6	
	0.541			0.96	33.9		0.04
	0.548	31	23			1.3	
	0.557			0.56	31.3		0.02
	0.564	10.4	26			0.4	
	0.572			0	26.7		0

1) Hoe de dubbelspleten kunnen gebruikt worden, om de relatieve intensiteiten der golfengten van twee lichtsoorten, bijv. van daglicht (onder verschillende omstandigheden) en van een constant kunstlicht te bepalen, zal later vermeld worden. (Zie de noot op bl. 53.)

In de eerste plaats vinden wij $K_g : W_g$ voor alle golflengten veel grooter dan $K : W$; en ten anderen blijkt, dat in de krommen van K_g en W_g de maxima op geheel andere golflengten komen te liggen dan in die van K en W .

	Maxima van	
	K	W
daglicht	op λ 0.459	0.541
gaslicht	0.503	0.564

In gaslicht zijn dus de maxima van K en W tot elkander genaderd, en zijn beide, maar vooral dat van K , naar de minder breekbare zijde van het spectrum verschoven. Het maximum der koele komt nagenoeg in N te liggen, en gaat zelfs in het warme gedeelte van het spectrum over, wanneer men de spleet van W met een grijs plaatje voorziet, of wel W van grootere golflengte kiest, zooals andere reeksen van vergelijkingen bewijzen, die wij hier, als te ingewikkeld om ze te analyseeren, achterwege laten.

23. *Relatieve waarde onzer krommen.* Uit 21 en 22 is gebleken, dat sterkte en samenstelling van het licht — de absolute dus zoowel als de relatieve intensiteiten der verschillende golflengten — een grooten invloed hebben op de vergelijkingen. Onderling vergelijkbaar zijn zij dus alleen, wanneer ze *bij gelijk licht* verkregen zijn. Over een vast licht kunnen wij echter niet beschikken, en wel het minst als daglicht. Men trachte er echter toe te naderen, en make voorts *bij hetzelfde licht* de vergelijkingen afwisselend op meer dan één persoon, waarbij het ook mogelijk is voor gelijke stemming van het netvlies te zorgen. Zoo werden de boven (bl. 29) vermelde en eveneens de door Prof. Donders op het Congres te

Londen ¹⁾ medegedeelde verkregen. Treedt nu dezelfde persoon bij herhaling naast anderen op, dan wordt het veld van vergelijking grooter.

Onafhankelijk van de sterkte en de samenstelling van het licht, is het de vraag, hoe in de vergelijkingen over de verschillende deelen van het spectrum een ongelijkmatigen invloed der lichtsterkte te vermijden.

Zal men een constante voor het enkelvoudig spectrum aannemen en die der samenvallende spectra daardoor laten bepalen? Bij de ongelijkmatige dispersie in het dioptrische spectrum zou dat geen zin hebben. Rationeeler kon het schijnen, voor iedere vergelijking de spleetwijdte naar de eischen van het interferentie-spectrum te reduceeren, in dier voege, dat telkens de lichthoeveelheden, tusschen gelijke verschillen van golflengte (bijv. verschillen van 0.01μ) vervat, in de oculair-spleet tot dekking komen. Maar, afgezien van praktische bezwaren (de nauwe spleetwijdte bijv., gevorderd voor het toch al zeer zwakke rood), zou dergelijke reductie haar doel missen, omdat van die hoeveelheden zeer ongelijke fracties in de vochten van het oog en vooral in de gele vlek worden opgeslorpt.

Zal men dan de som der spleetwijdten voor de samenvallende spectra constant houden en die van het enkelvoudige daarnaar regelen? Dat juist is, zooals wij zagen, wat

1) Transactions. Physiology. 1881. Een aanwijzing van groote beteekenis, beslissend voor rood- en groenblindheid en de daar tusschen voorkomende overgangen en gemakkelijk bij dezelfde gelegenheid op vele personen toe te passen, geven de eenvoudige vergelijkingen der lichtsterkten, ook met het eenvoudig dubbelspectroscop (fig. 1 bl. 6) te verkrijgen, tusschen D en enige golflengten aan beide zijden van D, namelijk tot C en E. Verg. kleurstelsels van Prof. Donders.

ons splotenstelsel verwezenlijkt, en daarmee wordt bereikt, 1° dat voor de golflengten tusschen W en K de vergelijkingen bij te minder lichtsterkte geschieden, hoe meer de kleur tot K nadert, en 2°, voor die buiten W en K, met afnemende lichtsterkte tot de uiteinden van het spectrum (verg. tabel, bl. 27).

Hierbij is alléén ondersteld, dat W lichtsterker gekozen is dan K, wat trouwens ook om andere redenen noodig is. 't Schijnt niet, dat aan de eischen der lichtsterkten beter zou kunnen worden voldaan, dan door deze zelfregeling van ons splotenselsel. Bovendien vereenigt de methode vastheid en regelmaat met zekerheid en snelheid in de uitvoering, de laatste, bij de veranderlijkheid van het daglicht, inderdaad onontbeerlijk.

Met drie onafhankelijke sploten moet men zich, om ordeloosheid te voorkomen, aan willekeurige banden leggen, en is, ten slotte, toch evenzeer genoodzaakt, de componenten op gelijke waarden der enkelvoudige terug te brengen, zooals ook Maxwell deed.

24. *De gemiddelde fout* ¹⁾. Bij bepaling van N, onder gelijke voorwaarden, bleek de fout uiterst gering te zijn (bl. 15). Veel grooter is ze in vergelijkingen van de lichtsterkten en van de saturaties.

Onze gewone vergelijkingen zijn die eener enkelvoudige kleur E met een mengsel van twee, doorgaans een koele en een warme:

$$E = K + W.$$

In die vergelijkingen zijn de fouten der verschillende

1) Uit al de waarnemingen wordt de gemiddelde genomen, en de gemiddelde afwijking (hetzij positieve, hetzij negatieve) van elk der waarnemingen is de gemiddelde fout (Durchschnittsfehler).

termen van elkander afhankelijk. In de eerste plaats is $W + K$ een vaste som, en dus K zooveel te laag als W te hoog en voor $W + K$ de fout gelijk nul. Voorts, terwijl W lichtsterker is dan K , stijgt de lichtsterkte van $W + K$ met W en rijst daarbij ook E ; en, omgekeerd, stelt men E naar W . Zodoende voegen zich saturatie en lichtsterkte naar elkander.

Tot voorbeeld, de vergelijking eener tamelijk gesatureerde warme (λ 0.554) met de gewone $W + K$.

	E	W	K	$W + K$
	53.35	= 115	+ 66	
gemiddelde fout	4.9	4.75	4.75	0

Kleiner is de gemiddelde fout in de vergelijking met $N = \text{wit}$.

	N	W	K	$W + K$
		85.1	55.9	141
gemiddelde fout		2.7	2.7	0

Wij onderzochten voorts, welken graad van nauwkeurigheid vergelijkingen tusschen twee gelijken, nabij D en nabij G, bereikten, de ééne constant (een der gekoppelde), de andere bewegelijk. Nabij D was de uitkomst:

	Do. (norm.)	Wa. (norm.)	v. d. W-Rb.
gemiddelde	17.275	17.32	17.9
gem. fout, randverdeling	0.025	0.02	0.49
" in λ	0.0005 μ	0.0004 μ	0.011 μ

De gemiddelde fout is bij den roodblinde ruim *twintig* malen grooter en wordt door dien van den groenblinde nog overtroffen.

Hetzelfde geldt van de kleinste merkbare verschillen, naar beide zijden, waarvoor resp. gevonden werd:

λ 0.583 en 0.5814	0.583 en 0.581	0.602 en 0.557
---------------------------	----------------	----------------

Het normale oog gaat af op het verschil in tint (kleur), waar het kleurblinde slechts over verschil in toon (saturatie) beschikt.

Bij het gelijkmaken der kleuren werd de gemiddelde fout der lichtsterkten, op 13.5, gevonden voor

Do. 0.6 Wa. 1.24 v. d. W. 0.72

De vergelijkingen nabij G hadden als uitkomst:

	Donders.	Waelchli.	v. d. W.
	29.07	28.98	28.88
gem. fout, randverdecling	0.15	0.28	0.59
„ in λ	0.001	0.002	0.04

In het blauw is de nauwkeurigheid van het kleurblinde oog, met hoog stijgende saturatie, dus grooter, voor het normale kleiner dan in het gele, zoodat ze elkander nabijkomen.

Hieraan beantwoorden de kleinste merkbare verschillen, waarvoor gevonden werd:

Do. Wa. v. d. W.
 λ 0.430 en 0.437 λ 0.4295 en λ 0.436 λ 0.426 en λ 0.438

De gemiddelde fout der lichtsterkten, op 250, werd gevonden:

Do. 10.5 Wa. 11.1 v. d. W. 18.2

Oudere bepalingen wijzen, in het gesatureerde blauw, ook voor Es. (groenblind) eene kleine gemiddelde fout aan.

Berekent men, naar de methode der kleinste quadraten de middelbare en uit deze de waarschijnlijke fout, voor een dubbele reeks van op- en neergaande waarnemingen, zoo vindt men voor de waarschijnlijke niet meer dan de helft van het bedrag der boven vermelde gemiddelde fouten.

25. *Vergelijking onzer methode met andere (die van*

Maxwell, van v. Kries, het dubbel-spectroscop van Helmholtz, de Farbenmesser van Rose). Bij onze methode zien we door het oculair naar de spleet en ontvangen op het netvlies een beeld van het daarin gelegen spectrum. Bij die van Maxwell plaatst het oog zich onmiddellijk voor de spleet en ontvangt van het geheele prisma de kleur of de kleuren, van een of van elkander dekkende spectra uitgesneden. Maxwell kon zijn mengsels alléén vergelijken met daarnaast gespiegeld wit en moest, om de vergelijkingen te vinden met enkelvoudige kleuren, het wit algebraïsch elimineeren. Maar von Kries slaagde er in, ook bij het volgen dezer methode, de laatstgenoemde vergelijkingen direct te verkrijgen, en wel door twee zeer dunne prisma's, met de brekende kanten verbonden, vóór de objectief-lens te plaatsen, waardoor van iedere spleet twee spectra worden gevormd, en één van dat ééner spleet met twee van twee naast elkander gelegen spleten kan samentreffen, om met verschil van richting in het oog te treden.

Het voordeel nu dezer methode is, dat zij groote en aan elkander grenzende vergelykingsvlakken geeft, die eene kleine waarnemings-fout beloven. Maar zij mist de gelegenheid, om *met eigen hand, snel en zeker*, een geheele reeks van vergelijkingen te maken. Met „bevelen” en „gehoorzamen” is dit niet wel te bereiken. En dit zal dan ook wel de reden zijn, waarom Maxwell slechts één kleurblinde onderzocht en waarom Frey en v. Kries zich tot hun eigen oogen bepaalden. Intusschen laat het beginsel zich ook zeer wel met ons spectroscop verbinden. Men heeft daartoe slechts het oculair te verwijderen en de oculair-spleet door een andere te vervangen. Reeds voor langen tijd heeft Prof. Donders op die wijze proeven genomen, en ze zullen weder worden

opgevat, nu von Kries ons geleerd heeft, met zijn tweeling-prisma vergelijkingen te maken met iedere spectraalkleur. Het zal dan moeten blijken, of de waarnemingsfout, zooals wij verwachten, bij die inrichting werkelijk kleiner uitvalt dan bij de onze, wat vooral in betrekking tot de lichtsterkte zeer gewenscht ware. Frey en von Kries geven ze niet aan. Maxwell vond bij zijn kleurblinde:

33.7 geelgroen + 33.1 blauw = wit, en op het eerste de gemiddelde fout = 2.5, op het tweede = 2.3, op de som = 4.8 en op het verschil = 1.3, — hetgeen niet of nauwelijks minder is dan wij verkregen ¹⁾.

Wij hadden nog gelegenheid, een groot dubbel spectroscop te onderzoeken, naar Helmholtz genoemd, en beschreven in het „Bericht über die Wissenschaftliche Instrumente auf der Berliner Ausstellung. Berlin 1879.” Het heeft, evenals het bl. 6 afgebeelde, twee collimato-

1) Overigens zijn de bezwaren door Frey en von Kries tegen de door ons gevolgde methode in het midden gebracht, denkbeeldig. Van beperking der aanwendbaarheid kan ook geen sprake zijn: met de vrije gekoppelde spleten is alvast gelegenheid gegeven de complementaire te bepalen; en voorts kunnen deze en alle andere vergelijkingen op het scherm worden gedemonstreerd, de kleinste waarneembare verschillen in toon en tint, bij gelijke lichtsterkte, bepaald en vergeleken, Dove's beginsel der heterochrome photometrie op spectraalkleuren worden toegepast, enz. enz.

Eindelijk gaf een klein totaal reflecteerend prisma voor één der spleten gelegenheid, voor de verschillende kleuren de relatieve lichtsterkten van twee spectra van verschillende oorsprong te bepalen, van dat van daglicht, bijv., en van een (constant) gas- of petroleum-licht, waarbij de veranderingen, waaraan het eerste onderhevig is, bekend worden. Hierover zal in de onderzoekingen van het physiologisch laboratorium afzonderlijk worden gehandeld.

ren, beide draaibaar, ieder met één spleet voorzien, in iedere collimatorbuis een dubbelbrekend prisma, gevende twee spectra, waarvan het eene, door verschuiving van het dubbelbrekend prisma in de collimatorbuis, over het ander zich beweegt en wier relatieve lichtsterkten door een Nicol worden geregeld. Éen collimator geeft ons dus alle gewenschte mengsels van twee kleuren, op de gemakkelijkste wijze ook alle complementaire. En laat men van een der collimatoren de twee spectra zoo ver over elkander schuiven, dat slechts een daarvan zichtbaar blijft, dan kan men ook van iedere enkelvoudige kleur met al die mengsels vergelijkingen maken.

Voor gewone demonstraties is geen geschikter werktuig denkbaar. Maar voor scherpe bepalingen eigent het zich niet zoo goed: 1° is het moeielijk, de spleten der beide collimatoren op gelijke wijze en, bij de gevorderde draaiingen, op onveranderde wijze te verlichten; 2° brengt de groote verplaatsing der beide spectra, noodig om het ééne te isoleeren, ons ver buiten het minimum van afwijking, op zich zelf reeds een bezwaar, en bovendien een beletsel, om bij denzelfden stand van het oculair de lijnen van Fraunhofer in elk der spectra te zien en hare corresponderende golflengten af te lezen: door in- en uitschuiven van het oculair ziet de kleurblinde de neutrale beurtelings warm en koel worden, en 3° maakt het dubbelbrekend prisma de lichtsterkten gering en de beelden minder scherp.

Om deze en andere redenen moeten wij aan het samengesteld spleettoestel met één collimatorbuis en zonder dubbelbrekend prisma de voorkour geven.

De „Farbenmesser” van Rose, waarvan wij de inrichting bekend onderstellen, kan niet dienen, om de door ons

gewenschte vergelijkingen te maken. Hij geeft slechts die tusschen twee zeer samengestelde neutrale, die het normale oog als rozerood en blauw-groen erkent; maar deze — op de eenvoudigste wijze en met groote nauwkeurigheid. Loopen de aanwijzingen op verschillende dagen niteen, zoo is dit het gevolg van verschil in samenstelling van het daglicht. De lichtsterkte toch heeft nauwlijks invloed. Wij overtuigden ons daarvan met behulp van draaiende Nicols voor den spiegel, ontegenzeggelijk de zuiverste methode. Men zou hier invloed hebben verwacht, omdat de spectrale Ns (blauw-groen) en vooral de uit rood en blauw gevormde Ne (verg. bl. 44) dien invloed zoo sterk ondervinden. Dat hij hier genoegzaam uitblijft, moge aan de groote samengesteldheid van het mengsel der beide neutralen van den „Farbenmesser” worden toegeschreven.

Het werktuig is onschatbaar voor het snel herkennen van kleurblindheid. Voor de differentiële diagnose tusschen rood- en groenblinden wordt licht van constante samenstelling gevorderd, en bovendien liefst vergelijkend onderzoek bij hetzelfde licht.

26. *Lichtsterkte en saturatie der fundamenteele kleuren bij kleurblinden.* Zijn de fundamenteele kleuren als functie der golflengten vastgesteld (fig. 5), dan blijft nog over hare saturatie en intensiteit te bepalen, in vergelijking met die van het normale oog. Ten aanzien daarvan hebben onze onderzoekingen eene groote uitbreiding verkregen. Elders zullen ze, in verband met die van andere waarnemers, wellicht ter sprake komen. Hier zij slechts aangestipt, dat, wat *saturatie* aangaat, de kleinste merkbare vermenging met een grijs van gelijke lichtsterkte, en de kleinste merkbare inmenging in hetzelfde grijs, naar verschillende

methoden bepaald, én bij Escher én bij mij met die voor het normale oog gelijk staan, en, wat de *lichtsterkte* aangaat, de gevoeligheid voor de kleinste hoeveelheid licht zoowel als de gezichtsscherpte, bij toenemende hoeveelheden, bij Escher niet en bij mij nauwelijks voor die van het normale oog onderdoen.

Eindelijk zij nog vermeld, dat het groote scotoma in de streek der gele vlek, hetgeen, na een verblijf in het duister, belemmerend werkt op het onderscheiden van letters, zich bij dezelfde kleuren vertoont én voor rood-én voor groenblinden als voor het normale oog.

Een en ander is daaromtrent reeds te lezen in de *Transactions of the international Congress, 7th Session. Physiology* (separate edition) p. 85—87. London. 1881.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

Hering's theorie van den kleurzin is een zuiver psychologische, zonder voldoende physiologischen grondslag.

II.

De werking van santonine op den kleurzin berust op prikkeling vergezeld van torpor.

III.

De theorie van Young is niet de sleutel tot de kleurblindheid, maar deze is veeleer de sleutel tot de theorie van Young.

IV.

Het door de nieren afgescheiden ureum is niet rechtstreeks uit het bloed afkomstig.

V.

Bij empyeem verrichte men altijd resectie van één of meer ribben.

VI.

Bij de toepassing der aseptische methode is het bedenkelijk van de voorschriften van Lister af te wijken.

VII.

De operatie van Porro verdient geen aanbeveling.

VIII.

Eclampsia is óf altijd óf nooit het gevolg van drukking op de ureteres.

IX.

De neuro-pathologie levert tal van feiten, die ons nopen trophische zenuwen aan te nemen.

X.

De mensch is een automaat — met bewustzijn.

Huxley.

XI.

De sympathische ophthalmie kan men alléén verklaren door stoornis der trophische zenuwen.

XII.

Van physiologisch antagonisme kan bij vergiften geen sprake zijn.

XIII.

Men behandele typhus niet met koude baden.

XIV.

Het is a priori waarschijnlijk en ook door de ontdekking bewezen, dat syphilis van den vader, zonder infectie der moeder, op het kind kan overgaan.

XV.

Voor de werking van morphine is in vele gevallen de plaats van injectie onverschillig.

XVI.

Het belang der maatschappij vordert vrije uitoefening der geneskunst.

XVII.

Men bedriegt zich, wanneer men meent, dat in ons klimaat donkere kleederen warmer zijn dan lichte.

