



KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

**OPTISCHE  
VERSCHIJNSELEN  
AAN DE HEMEL**

DOOR

Prof. Dr S. W. VISSER

Prijs f 3.—

VERSPREIDE OPSTELLEN

3

PUBLIKATIENUMMER: KNMI 137-3

STAATSDRUKKERIJ- EN UITGEVERIJBEDRIJF / 'S-GRAVENHAGE 1957

**KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT**



## **Optische verschijnselen aan de hemel**

door Prof. Dr S. W. Visser

oud-hoogleraar aan de Rijksuniversiteit  
te Utrecht

Tweede uitgebreide druk

With English Summary  
Optical Phenomena in the Sky

**VERSPREIDE OPSTELLEN 3**

# Voorwoord

De afhandeling is geschreven door de auteur en is het resultaat van een onderzoek dat is uitgevoerd op de afdeling [naam afdeling] van de Universiteit van [naam universiteit]. De afhandeling is bedoeld als aanvulling op de cursus [naam cursus] en is niet bedoeld als een definitieve uitspraak over de afgehandelde onderwerpen. De afhandeling is het resultaat van een onderzoek dat is uitgevoerd op de afdeling [naam afdeling] van de Universiteit van [naam universiteit]. De afhandeling is bedoeld als aanvulling op de cursus [naam cursus] en is niet bedoeld als een definitieve uitspraak over de afgehandelde onderwerpen.

De afhandeling is geschreven door de auteur en is het resultaat van een onderzoek dat is uitgevoerd op de afdeling [naam afdeling] van de Universiteit van [naam universiteit]. De afhandeling is bedoeld als aanvulling op de cursus [naam cursus] en is niet bedoeld als een definitieve uitspraak over de afgehandelde onderwerpen.

De afhandeling is geschreven door de auteur en is het resultaat van een onderzoek dat is uitgevoerd op de afdeling [naam afdeling] van de Universiteit van [naam universiteit]. De afhandeling is bedoeld als aanvulling op de cursus [naam cursus] en is niet bedoeld als een definitieve uitspraak over de afgehandelde onderwerpen.

ALS derde deeltje in de serie „Verspreide Opstellen” verschijnt „Optische verschijnselen aan de hemel”. Onder gelijknamige titel is bij de N.V. J. Noorduyn en Zn. te Gorinchem in 1943 het oorspronkelijke werk verschenen van de hand van Prof. Dr S. W. VISSER. Met medewerking van de uitgever verschijnt deze geheel omgewerkte en aangevulde tweede druk, welke opnieuw door Dr VISSER is verzorgd, als publikatie van het K.N.M.I.

Wij achten het een bijzonder voorrecht, dat de bij uitstek bevoegde schrijver, hoewel sedert 1 juli 1946 niet rechtstreeks meer aan de wetenschappelijke staf van het K.N.M.I. verbonden, de kopij van deze specialistische materie heeft willen verzorgen. Het had in geen betere handen kunnen zijn.

Hoewel de indeling gelijk is gebleven aan die van het oorspronkelijke werk, is in deze publikatie een scheiding gemaakt tussen de praktische aanwijzingen voor waarnemers en de meer theoretische beschouwingen bij de verschillende fenomenen. Deze gedeelten zijn aangestreept.

Voor een aantal verschijnselen is de theorie iets uitgebreider opgenomen. Dit geldt voornamelijk voor „de zuil”, „de bijzonnen”, „de omhullende halo”, „de schemeringsverschijnselen”. Toegevoegd zijn voorts een frequentie-tabel van de 48 verschillende halovormen, een kort hoofdstuk over „de optische verschijnselen en het weer”, alsmede een korte samenvatting in de Engelse taal. De daarvoor in aanmerking komende paragrafen zijn verder van literatuuroverzichten voorzien.

Naast een woord van grote erkentelijkheid aan de bewerker verdienen in het bijzonder vermelding de waardevolle bijdragen en aanwijzingen van de zijde van de vrijwillige waarnemers van het K.N.M.I., die door hun arbeid deze, in de vakliteratuur vrijwel unieke bewerking der optische verschijnselen aan de hemel, hebben mogelijk gemaakt.

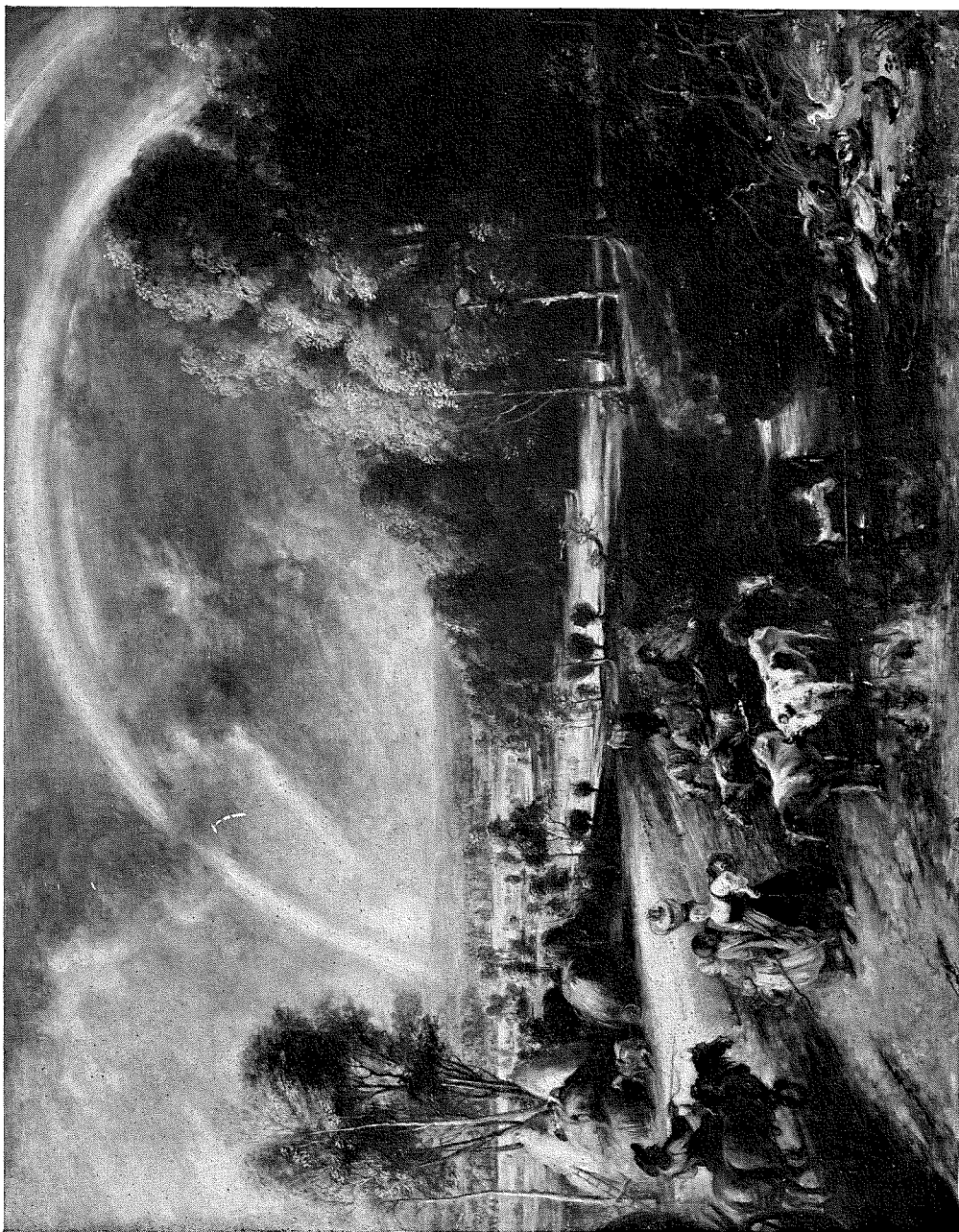
Dr L. J. L. DEY, Dr H. TEN KATE en Prof. Dr J. VELDKAMP hebben door waardevolle opmerkingen bijdragen tot de redactie van deze uitgave geleverd. Prof. Dr W. BLEEKER droeg zorg, dat de indeling en de namen der wolken in overeenstemming zijn met de nieuwe Internationale Wolkenatlas.

Enkele figuren zijn afkomstig uit het tijdschrift „Hemel en Dampkring”. De Redactie en de Uitgeefster, de firma J. B. Wolters te Groningen, ben ik voor hun bereidwilligheid daartoe erkentelijk.

*De Hoofddirekteur van het  
Kon. Nederl. Meteorol. Instituut,*

Ir C. J. WARNERS





Plaat I. Het landschap met de regenboog van P. P. Rubens. Foto Rijksmuseum Amsterdam.

blz	
37	5 Optische verschijnselen in vaste stoffen
37	IJskristallen - Haloverschijnselen
38	IJskristallen
39	IJswolken
40	De stand der kristallen
41	De optische werking der kristallen
42	Halovormen
42	A. Halo's door terugkaatsing
47	B. Halo's door breking
48	Brekende hoek $60^\circ$
62	Brekende hoek $90^\circ$
70	Andere brekende hoeken
77	C. Halo's door buiging
79	D. Halo's door herhaalde terugkaatsing en breking
79	Herhaalde terugkaatsingen
82	1 Inwendige terugkaatsingen in een enkel-
	voudig kristal
90	2 Uitwendige terugkaatsingen op samenge-
	stelde kristallen
90	3 Terugkaatsing en breking in een tweede
	kristal
93	E. Andere zeldzame halo's
96	F. Hellende halo's
97	G. Verwante halo's
98	H. Frequentietabel
99	Buigingsverschijnselen in vaste stoffen
102	6 Verstrooiing van het licht
102	Het blauw van de hemel
102	Schemeringsverschijnselen
109	Schemeringsbundels
110	Alpengloed
110	Paarlemoerwolken
110	Lichtende nachtwolken



blz	
112	7 Elektrische lichtverschijnselen
112	Poollicht
119	Lichtende nachthemel
119	Sint-Elmusvuur
121	8 Optische verschijnselen en het weer
123	9 Aanwijzingen voor waarnemers
128	Summary
133	Register

## *Inleiding*

Onder de licht- en kleurverschijnselen aan de hemel zijn er enkele, waarmede wij door dagelijkse aanschouwing zo vertrouwd zijn geraakt, dat het ons nauwelijks meer invalt naar hun oorzaak te vragen. Waarom is de hemel blauw? Waarom overweegt in de schemering het rood? Bij andere verschijnselen stellen we ons veel te gemakkelijk met een weinig zeggende verklaring tevreden. Zo heeft eeuwen lang niemand getwijfeld aan de verklaring van de regenboog door Descartes: de regenboog ontstaat nu eenmaal in regendroppels en hij straalt in de befaamde „zeven kleuren van de regenboog”. Eerst als het verschijnsel zeldzamer en ongewoner wordt, beginnen wij naar de oorzaak te vragen, maar dan speelt vaak oud bijgeloof ons parten. Zo zou de kring om de zon de voorbode van stormweer op zee zijn:

*Een kring om de maan, dat kan nog gaan,*

*Een kring om de zon, daar huilen vrouw en kinderen om.*

Er bestaat een groot aantal van dergelijke lichtverschijnselen, die soms in rijke verscheidenheid te zien zijn en die degene, wiens aandacht er eenmaal op gevallen is, steeds weer opnieuw boeien door hun vormenrijkdom, hun kleuren en hun metamorfosen.

Nederland heeft op dit gebied een bijzondere reputatie, omdat sinds lange jaren een trouwe garde van vrijwillige waarnemers van het K.N.M.I. met grote ijver en volle toewijding onverflauwde aandacht aan deze verschijnselen heeft gegeven. Deze waarnemers, zeer uiteenlopend van werkkring en opleiding maar allen met dezelfde warme belangstelling voor de natuur, hebben een verzameling waarnemingen tot stand gebracht, die uniek in de wereld is. Geen leerboek der meteorologische optica kan geschreven worden, zonder dat de schrijver grondig kennis neemt van de Nederlandse waarnemingen en alle buitenlandse auteurs zijn vol lof voor wat hier in Nederland verricht wordt.

Geleerden van naam hebben zich met de vraagstukken, die hierboven werden aangestipt, bezig gehouden. Wij noemen slechts enkele namen, die in dit boekje ter sprake zullen komen: Christiaan Huygens; Descartes, Bravais, Mascart; Airy, Rayleigh; Galle, Pernter, Alfred Wegener.

De theorie leidt vaak tot diepgaande wiskundige beschouwingen en nog

zijn alle moeilijkheden niet opgelost. Voor een deel is hiervan de oorzaak, dat de natuur in de dampkring experimenteert op zeer grote schaal en onder omstandigheden, die in het laboratorium niet verwezenlijkt kunnen worden. Vaak zijn ook die omstandigheden niet voldoende bekend en de onderzoeker moet zich daarom al te zeer behelpen met vereenvoudigde onderstellingen en met geïdealiseerde eigenschappen van het milieu, waarin de optische verschijnselen te voorschijn treden.

Wonderlijk genoeg ontbrak tot nu toe een studieboek in het Nederlands. Deze publikatie, oorspronkelijk bedoeld als handleiding voor onze vrijwillige waarnemers, mag nauwelijks de naam van studieboek dragen. Alle diepgaande theoretische beschouwingen worden vermeden, maar het geeft voldoende om de waarnemer, die iets van de verklaring dezer verschijnselen wil weten, te bevredigen. Het is vrijwel geheel op Nederlandse waarnemingen gebaseerd.

Wie meer wil weten dan dit boekje geeft, moet zich verdiepen in uitgebreide studieboeken. De voornaamste zijn:

PERNTER-EXNER, Meteorologische Optik, 2. Auflage, 1922.

R. MEYER, Die Haloerscheinungen. Probleme der Kosmischen Physik 12, Hamburg 1929.

A. BRAVAIS, Mémoire sur les halos et les phénomènes optiques qui les accompagnent, Journal de l'Ecole Royale polytechnique, Tome 18, Paris 1847. Dit boek, hoewel in sommige opzichten verouderd, is in vele andere opzichten voortreffelijk. Het is echter uitverkocht.

De waarnemingen, in Nederland verricht, vindt men in de jaarlijkse publikatie van het K.N.M.L.: „Onweders, Optische Verschijnselen enz. in Nederland”. Voorts vindt men talloze beschouwingen in het tijdschrift „Hemel en Dampkring”, orgaan van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde.

# ***I Uit de theorie van het licht***

## **Overzicht**

In dit boekje zullen besproken worden alle bijzondere lichtverschijnselen, die in de atmosfeer voorkomen. Bij hun verklaring komen de volgende hoofdstukken van de leer van het licht ter sprake: A. Terugkaatsing, B. Breking, C. Buiging en Interferentie, D. Verstrooiing. Deze verschijnselen kunnen optreden: I. in gassen (de atmosfeer zelf), II. in vloeistoffen (water) en III. in vaste stoffen die in de atmosfeer voorkomen (ijs en stofdeeltjes).

In een afzonderlijk hoofdstuk zullen lichtverschijnselen van elektrische aard (met uitzondering van bliksem en weerlicht) besproken worden. Een belangrijke factor bij de waarnemingen is de waarnemer zelf. Ook aan hem zullen wij onze aandacht moeten wijden.

De te behandelen onderwerpen kunnen in rubrieken worden ingedeeld als geschied is in achterstaande tabel (blz. 11). Het is hierbij echter niet steeds mogelijk de verschillende verschijnselen telkens in één groep in te passen.

Van de verschillende hoofdstukken uit de optica volgt nu allereerst een korte omschrijving.

## **Het zonlicht**

Het zonlicht is wit. Het maanlicht, dat niets anders is dan teruggekaatst zonlicht, is eveneens wit. Het witte zonlicht is samengesteld uit een groot aantal kleuren, die men in de volgende hoofdgroepen samenvat: rood, oranje, geel, groen, blauw, violet <sup>1)</sup>. De kleuren gaan geleidelijk in elkander over.

Het licht is een trillingsverschijnsel; het plant zich in lichtgolven voort. De kleuren onderscheiden zich van elkander door hun *golflengte* <sup>2)</sup>. Onder de golflengte verstaat men de afstand tussen twee op elkaar

1) Gewoonlijk noemt men zeven kleuren en verdeelt dan het blauw in „blauw en indigo”. Deze splitsing is volkomen overbodig. Ook bij theoretische beschouwingen over de kleuren maakt men dit onderscheid niet.

2) Men spreekt ook van de *frequentie*; dit is het aantal trillingen per seconde. Er bestaat het volgende verband tussen golflengte en frequentie:  $\text{golflengte} \times \text{frequentie} = \text{voortplantingssnelheid van het licht}$ .

*De indeling der lichtverschijnselen aan de hemel*

	A	B	C	D	E
	Terugkaatsing	Breking	Buiging en interferentie	Verstrooiing	Elektrisch
<b>I Gassen</b>		Straalbreking Abnormale straalbreking (Vervormingen; Groene straal)		Blauwe hemel Blauwe bergen Heïgheid	Poollicht Lichtende nachthemel Sint-elmusvuur
		Luchtspiegeling Flikkeren van sterren			
<b>Regenboog</b>					
<b>II Vloeistoffen</b>	Regenboog bij gespiegelde zon		Secundaire regenbogen Kransen Iriserende wolken	Schemerings- verschijnselen	
<b>III Vaste lichamen</b>	1 IJSKRISTALLEN				
	<i>Haloverschijnselen</i>				
	Parhelische ring Zuil (Dubbele zon) Benedenzon	Kringen Bijzonnen Raakbogen enz.	Secundaire bogen Afwijkende kleur- verschijnselen Kransen		
	2 STOFDEELTJES				
			Ring van Bishop	Lichtende nachtwolken Kleur- en licht- verschijnselen na vulkanische uitbarstingen e.d.	
<b>Waarnemer</b>	Afplatting van het hemelgewelf Schatting van afmetingen aan de hemel; Hoekmetingen Kleurwaarnemingen				

volgende golfbergen. De golflengte is voor het rood het grootst, voor violet het kleinst.

De golflengte wordt gewoonlijk in ångström-eenheden uitgedrukt;  $1 \text{ mm} = 10\,000\,000 \text{ \AA}$ ;  $1 \text{ \AA} = 0,000\,000\,1 \text{ mm}$ . De zes hoofdkleuren worden door de volgende golflengten van elkander gescheiden:

7600 Å — 6470 — 5860 — 5350 — 4920 — 4240 — 3600  
 — rood — oranje — geel — groen — blauw — violet —

### A. TERUGKAATSING

*Terugkaatsing* wordt ook wel *reflectie* genoemd. Hiertoe is de aanwezigheid van spiegelende vlakken nodig. Bijna uitsluitend komt bij de atmosferische optische verschijnselen spiegeling op platte vlakken voor.

In het punt waar een lichtstraal de spiegel treft, richt men een loodlijn op, die de *normaal* genoemd wordt. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal heet *invalshoek*; de hoek tussen de normaal en de teruggekaatste straal *terugkaatsingshoek*. Voor de spiegeling gelden nu de twee volgende regels:

- de invallende lichtstraal, de normaal en de teruggekaatste lichtstraal liggen in één plat vlak;
- de invalshoek = de terugkaatsingshoek.

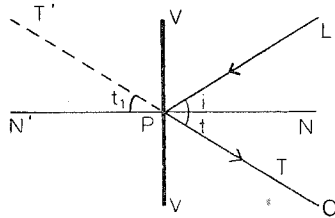
Een veel voorkomend geval is dat van een rechtopstaand spiegelvlak VV (in fig. 1 in verticale doorsnede getekend). De invallende straal is LP, de normaal PN, de teruggekaatste straal PT. De invalshoek is  $i$ , de terugkaatsingshoek  $t$ . Het oog in O ziet het lichtbeeld in de richting OT' even hoog als de lichtbron. Immers de normaal PN staat

horizontaal; de hoogte van de lichtbron is gelijk aan  $\angle i$ , de hoogte van het beeld is gelijk aan  $\angle t = \angle i$ .

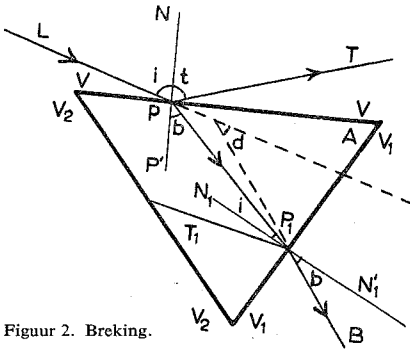
Vaak draait het spiegelvlak. Draait het om een horizontale as, dan gaat het beeldje omhoog of omlaag; bij draaiing om een verticale as gaat het naar links of naar rechts.

Bij terugkaatsing worden geen kleuren gevormd.

Figuur 1. Terugkaatsing.



## B. BREKING



Figuur 2. Breking.

a. *Breking of refractie* treedt op, wanneer een lichtstraal uit de ene doorzichtige middenstof in een andere treedt, b.v. van lucht naar glas, of omgekeerd. De richting van de straal verandert daarbij; de straal wordt „gebroken”.

In fig. 2 is aangenomen, dat de brekende stof aanwezig is als een voorwerp, begrensd door drie platte vlakken, die in horizontale doorsnede zijn

voorgesteld als  $VV$ ,  $V_1V_1$  en  $V_2V_2$ . Men moet zich deze drie vlakken loodrecht op het papier denken. Zij snijden elkaar volgens drie evenwijdige lijnen, die ook loodrecht op het papier staan. De lichtstraal valt in op het zijvlak  $VV$ , wordt hier gebroken en teruggekaats. Ook bij de breking gelden twee regels. Als eerste regel geldt, dat de invallende straal, de normaal en de gebroken straal in één plat vlak liggen. De lichtstraal  $LP$  valt in op het vlak  $VV$ . De normaal is  $PN$ , de teruggekaatste lichtstraal is  $PT$ , de gebroken lichtstraal is  $PP_1$ .  $LPN$  is de *invalshoek*  $i$ ,  $P'PP_1$  is de *brekingshoek*  $b$ .

De tweede regel geeft de betrekking aan tussen de hoeken  $i$  en  $b$ :

$$\sin i = n \sin b \text{ (Wet van Snellius).}$$

Hierin is  $n$  een constant getal, afhankelijk van de aard der beide middenstoffen. Men duidt deze constante aan met de naam brekingsindex. Voor de overgang van lucht naar ijs is deze brekingsindex  $n = 1,31$ , van lucht naar water  $1,33$ .

De gebroken lichtstraal  $PP_1$  bereikt het tweede zijvlak  $V_1V_1$ . Hierbij herhalen zich de terugkaatsing en de breking. De invalshoek is nu  $i_1 = PP_1N_1$ , de brekingshoek  $b_1 = N'_1P_1B$  en weer geldt de wet van Snellius:

$$\sin i_1 = n_1 \sin b_1.$$

Bij de terugkeer in de eerste middenstof (lucht) is  $n_1 = \frac{1}{n}$ . De teruggekaatste straal  $P_1T_1$  bereikt ergens het derde grensvlak  $V_2V_2$  en er hebben weer terugkaatsing en breking plaats op dezelfde wijze als voor de straal  $PP_1$ .

De hoek tussen de beide brekende vlakken (de hoek  $A$  tussen  $VV$  en

$V_1V_1$  in fig. 2) wordt de *brekende hoek* genoemd; de snijlijn van de beide vlakken heet de *brekende ribbe*.

De breking, die hier behandeld is, heeft plaats in het vlak loodrecht op de brekende ribbe. Dit is het eenvoudigste geval. Men zie verder blz. 51, Bijzonnen.

De invallende straal LP en de uittrede straal  $P_1B$  vormen in fig. 2 samen de hoek  $d$ . Men noemt deze hoek de *deviatie*, dit is de afwijking, die de lichtstraal ten gevolge van de breking in het beschouwde lichaam ondergaat.

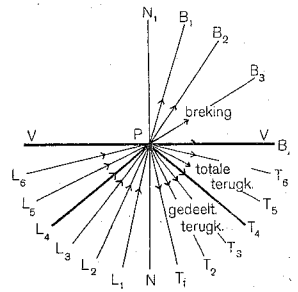
In de gevallen, die ons in het vervolg zullen bezig houden, treedt de lichtstraal uit de lucht in een waterdruppel of in een ijskristal en treedt hij weer in de lucht uit. Bij het binnentreden is de brekingshoek kleiner dan de invalshoek ( $n$  is groter dan 1); de lichtstraal LP wordt „naar de normaal toe” gebroken. Bij het uittreden is  $b_1$  groter dan  $i_1$ , omdat  $n_1$  kleiner is dan 1. De lichtstraal  $P_1B$  wordt „van de normaal af” gebroken. Steeds is  $n$  groter dan 1 als de tweede stof dichter is dan de eerste, zoals water en ijs ten opzichte van lucht;  $n$  is kleiner dan 1 als de tweede stof minder dicht is: lucht ten opzichte van water en ijs.

*b. Totale terugkaatsing.* Het kan gebeuren, dat in het laatste geval de lichtstraal niet meer kan uittreden. De brekingshoek toch kan  $90^\circ$  worden, maar nooit groter dan  $90^\circ$ . In het grensgeval is  $b_1 = 90^\circ$  en  $\sin b_1 = 1$ . En de vergelijking  $\sin i_1 = n_1 \sin b_1$  wordt dan  $\sin i_1 = n_1 = \frac{1}{n}$ .

In dit geval wordt  $i_1$  de grenshoek genoemd. Deze grenshoek  $i_1$  is voor ijs  $49^\circ 46'$  ( $\sin i_1 = \frac{1}{1,31}$ ) en voor water  $49^\circ 15'$  ( $\sin i_1 = \frac{1}{1,33}$ ).

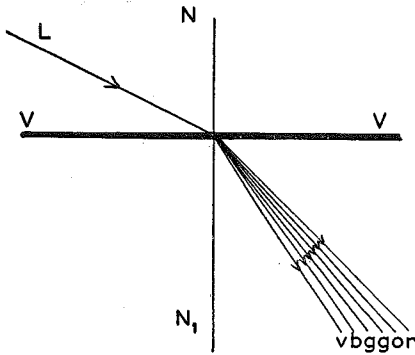
Wordt de invalshoek groter dan deze grenshoek, dan is er geen sprake meer van breking en treedt *totale terugkaatsing* op. Totale terugkaatsing heeft plaats voor alle lichtstralen, waarvan de invalshoek groter is dan de grenshoek.

Fig. 3 geeft een voorstelling van het verschijnsel. Het invallende licht is voor zes invalshoeken getekend ( $L_1 - L_6$ ). Het gebroken licht wordt weergegeven door de stralen  $B_1 - B_4$ . De laatste treedt rakelings uit; de invalshoek  $NPL_4$ , die bij deze straal behoort, is de besproken grenshoek. Voor de invallende stralen  $L_5$  en  $L_6$  is geen breking meer mogelijk.



Figuur 3. Totale terugkaatsing.





Figuur 4. Kleurschifting.

Zij worden totaal teruggekaatst in de richting  $T_5$  en  $T_6$ . De andere stralen  $L_1 - L_4$  worden gedeeltelijk teruggekaatst in de richtingen  $T_1 - T_4$ .

c. *Lichtsterkte.* Het invallende licht LP wordt verdeeld over het teruggekaatste licht PT en het gebroken licht PB. Deze zijn dus beide zwakker dan LP. Bij volgende brekingen en terugkaatsingen herhaalt zich

deze splitsing. Alleen bij totale terugkaatsing op een vlak is het teruggekaatste licht even sterk als het op dit vlak invallende. De verdeling van de lichtsterkte hangt af van de grootte van de invalshoek.

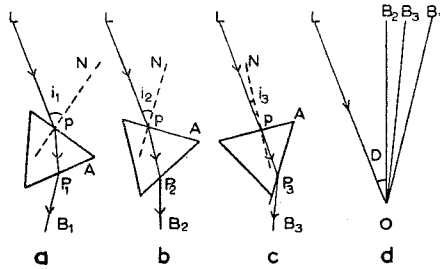
d. *Kleurschifting.* Bij de breking wordt het witte licht in zijn kleuren gesplitst, omdat deze ongelijke brekingsindices hebben. De brekingsindex neemt toe in de volgorde van het rood naar het violet. Het rood wordt het minste, het violet het sterkste gebroken en zo ontstaat het fraaie kleurenpatroon, dat welbekend is bij de doorgang van zonlicht door een glazen prisma en het *spectrum* genoemd wordt. Uit het bovenstaande volgt, dat de deviatie van het rood het kleinst is, van violet het grootst.

De brekingsindices zijn voor ijs en water:

	rood	geel	violet
Ijs	1,307	1,310	1,317
Water	1,332	1,334	1,345

Fig. 4 geeft een voorstelling van de kleurschifting.

e. *Minimum van deviatie.* In fig. 5 is de breking door een prisma getekend in drie verschillende standen van de brekende hoek A ten opzichte van de invallende lichtstraal LP; in fig. a voor een zeer grote invalshoek, in c voor een zeer kleine, in b voor een tussen gelegen waarde. De deviatie d is in dit middelste geval kleiner dan in de twee uiterste. Een oog in O (fig. 5d) ziet het directe licht in de richting OL en de drie gebroken stralen in de richtingen  $OB_1$ ,  $OB_2$  en  $OB_3$ . Draait het prisma van de stand a naar de stand c, dan wordt de deviatie



Figuur 5. Minimum van deviatie.

eerst kleiner (van  $B_1$  naar  $B_2$ ) en vervolgens groter (van  $B_2$  naar  $B_3$ ). Er is een bepaalde stand van het prisma waarbij de deviatie een minimum wordt. Dit *minimum van deviatie*  $D$  wordt bereikt wanneer de lichtstraal gelijke stukken van de benen van de brekende hoek  $A$  afsnijdt, m.a.w. wanneer de lichtstraal

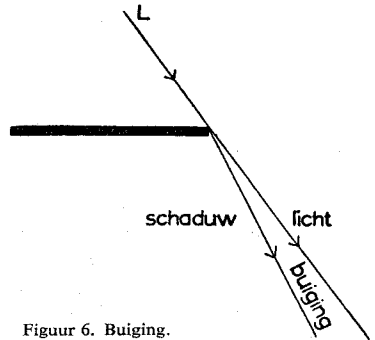
symmetrisch ten opzichte van de brekende hoek door het prisma heengaat. Het is het geval, dat in fig. 5b is getekend. Van de verschillende kleuren heeft rood het kleinste minimum van deviatie, violet het grootste.

### C. BUIGING EN INTERFERENTIE

Deze regel van de symmetrische doorgang geldt alleen voor het eenvoudige geval, dat de breking gebeurt in het vlak loodrecht op de brekende ribbe (zie blz. 51 e.v.).

In de regel mag men aannemen, dat het licht zich langs rechte lijnen voortplant. Wordt het door een scherm tegengehouden, dan vindt men de schaduw door een lijn te trekken van de lichtbron  $L$  naar de rand van het scherm (fig. 6). Een gedeelte van het licht dringt echter ook in de schaduw door en dit verschijnsel noemt men de *buijing* of de *diffRACTIE* van het licht. Er vormen zich dan in regelmatige opvolging gekleurde banden evenwijdig aan de schaduwrant.

Het verschijnsel komt goed tot ontwikkeling, wanneer het licht door een zeer nauwe spleet valt, nog beter, wanneer het valt door een aantal evenwijdige en even nauwe spleten. Zo komt het gekleurde kruis tot stand, dat men



Figuur 6. Buijing.

ziet, als men door een gespannen paraplu naar een brandende lantaarn kijkt; men kan er een aantal opeenvolgende spectra onder-

scheiden. Ook ontstaat buiging bij een klein scherm en in het bijzonder, wanneer het licht onderschept wordt door een groot aantal van zulke schermen. Zo ontstaan de fraai gekleurde ringen, die men op een beslagen ruit wel kan zien, waar licht doorheen schijnt. Het zijn de zeer kleine droppels op de ruit, die hierbij als schermpjes werken. Evenzeer ontstaan buigingsringen, wanneer het licht door één of een groot aantal nauwe openingen valt. Steeds ontwikkelen de kleuren zich het zuiverst, als de schermpjes of de openingen alle even groot zijn. Naarmate ze kleiner worden, worden de ringen wijder.

Al dergelijke buigingsfiguren ontstaan ten gevolge van de wisselwerking van lichtgolven, die langs wegen van verschillende lengte in één punt samenkomen. Deze wisselwerking noemt men *interferentie*. Hierdoor versterken op bepaalde plaatsen de lichtgolven van gelijke golflengte elkaar, op andere plaatsen werken zij elkaar tegen en zij kunnen elkaar zelfs geheel uitdoven. De afstand tussen de versterkingen en de uitdovingen hangt af van de golflengte en is het grootst voor de langste golven. Zo vormen zich de bovengenoemde regelmatig gekleurde banden en ringen. De kleurevolgorde is steeds zó, dat het rood aan de buitenkant voorkomt en er kunnen vele banden of ringen, telkens met het rood van buiten, ontstaan. Zie verder blz. 33.

#### D. VERSTROOIING

Valt het licht op uiterst kleine deeltjes, van de grootte der moleculen (in het algemeen kleiner dan de golflengte van het licht), dan gelden de gewone wetten van terugkaatsing, breking en buiging niet meer. Het opvallende licht wordt in alle richtingen verstrooid (*gediffundeerd*). Er komt dan niet alleen licht direct van de lichtbron tot ons oog, maar ook uit alle andere richtingen. Wij spreken dan van *verstrooiing* of *diffusie*.

De kleuren aan het rode einde van het spectrum worden veel minder verstrooid dan die aan het violette einde. In het doorgaande licht overheerst dus het rood, zijwaarts blauw en violet.

Een voorbeeld is de rook boven een schoorsteen. Men ziet de rook blauw tegen een donkere achtergrond, rood tegen de lichte hemel. In het eerste geval kan er alleen zijdelings invallend, verstrooid licht tot ons oog komen; in het tweede geval treft niet-verstrooid rood licht van de lichte achtergrond het oog.

De verschijnselen van de verstrooiing zullen in hoofdstuk 6 besproken worden.

## 2 De waarnemer

### Aangeboren waarnemingsfout

Iedere waarnemer, ook de meest geoefende, bezit een merkwaardige fout, nl. het onvermogen om aan de hemel afstanden te schatten. Een uiting van deze fout is het feit, dat men de zon, de maan en de sterrebeelden hoog aan de hemel veel kleiner ziet dan aan de horizon. Men kan zich in veel voorkomende gevallen van deze fout vrij maken, maar in ongewone gevallen vervalt men er steeds weer in. Geen waarnemer behoeft zich hiervoor te schamen: de fout is aangeboren! Ook de *schijnbare afplating van het hemelgewelf* behoort hiertoe. Men ziet de hemel niet als een halve bol boven de aarde maar sterk afgeplat. Dit blijkt b.v. als men een ster wil aanwijzen die halfweg het zenit staat, dus op  $45^\circ$  boven de horizon. Men wijst dan steeds veel te laag aan, zelfs wel slechts  $20^\circ$ .

De oorzaak van deze fout is tweeledig. In de eerste plaats heeft men door ervaring de grootte van voorwerpen op grote afstand langs het aardoppervlak leren schatten. Men vergelijkt onbewust de ondergaande zon met ver verwijderde dingen en gaat daardoor de grootte overschatten.

In de tweede plaats blijkt het, dat de afstandsschatting afhangt van de blik-richting. Kijkt men liggende naar de hoog aan de hemel staande maan, dan lijkt deze veel groter dan wanneer men vervolgens opstaat. Ook met geschikt opgestelde spiegels (onzichtbaar, omdat ze anders de illusie storen!) kan men overeenkomstige effecten bereiken.

In het volgende zullen meer dan eens voorbeelden aangetroffen worden waar deze schattingsfout de waarnemer parten heeft gespeeld. Hij moet vooral niet proberen zijn fout te verbeteren. Dan loopt hij gevaar naar de andere kant te overdrijven.

### Afstandsbepaling aan de hemel

Alleen door metingen of betrouwbare schattingen kan de waarnemer de beschreven schattingsfout vermijden en afstanden aan de hemel op juiste wijze bepalen.

Alle afstanden aan de hemel worden in hoekmaat (b.v. graden) gemeten. Het is onvoldoende te zeggen: „zo groot als een dubbeltje” of

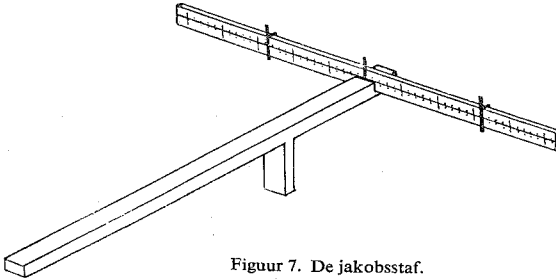
„als een wagenwiel”, omdat het er van afhangt, hoe ver men dit vergelijkingsvoorwerp van het oog verwijderd denkt. Men kan dus wel zeggen „als een dubbeltje op armlengte” of „als een dubbeltje op 1 m”, maar men doet beter zich aan hoekmaat te wennen. Men vergelijkje eens een dubbeltje op armlengte met de maan!

### Meefinstrumenten

a. *De theodoliet.* De theodoliet, in het bijzonder in de gewijzigde vorm van de *wolkentheodoliet*, is het beste algemene hoekmeetinstrument, maar stellig voor de meeste waarnemers buiten bereik. Dit toestel wordt hier alleen volledigheidshalve genoemd.

b. *De sextant.* Wie met een sextant of een oktant kan omgaan, leert deze gemakkelijk voor hoekmetingen aan halo's gebruiken. Men moet dan de kijker vervangen door een wijde vizieropening (1 cm voldoet goed). Men richt rechtstreeks op het verschijnsel en neemt de zon waar door de spiegels.

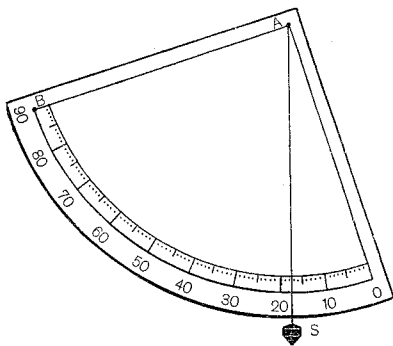
c. *De jakobsstaf.* Een goed bruikbaar instrument is de jakobsstaf. Men kan deze zelf met eenvoudige hulpmiddelen maken (fig. 7). Men



Figuur 7. De jakobsstaf.

plaatst een maatlat dwars op het uiteinde van een lange stok. Bijzonder goed voldoet een glazen maat. Voor dit latje slaat men als vizierinrichting een spijker in de stok. Men plaatst op het maatlatje een schuif en brengt een handvat op de stok aan. Men plaatst bij de meting het ene uiteinde tegen de wang en richt over de spijker en de schuif op de te meten afstand. Men kan de jakobsstaf alleen gebruiken indien men de te meten boog kan overzien zonder het hoofd te draaien. Goede afmetingen zijn een stok van 50 cm, een maat van 25 cm aan weerszijden van de stok. Hiermede kan men hoeken tot  $26^\circ$  meten.

d. *Het schietloodkwadrant.* In het verticale vlak kan men hoeken goed meten met het schietloodkwadrant (fig. 8). Ook dit toestelletje kan men zelf maken. Het bestaat uit een gradenboog van  $90^\circ$ , waaraan in het middelpunt aan een speld A een schietloodje S is opgehangen. De tweede speld B legt de vizierlijn vast. Men richt over de spelden A en B en het schietlood geeft dan de hoogte aan. Om de zonshoogte te meten, laat men de schaduw van A op AB vallen. Men make de straal van het kwadrant ongeveer 25 cm.



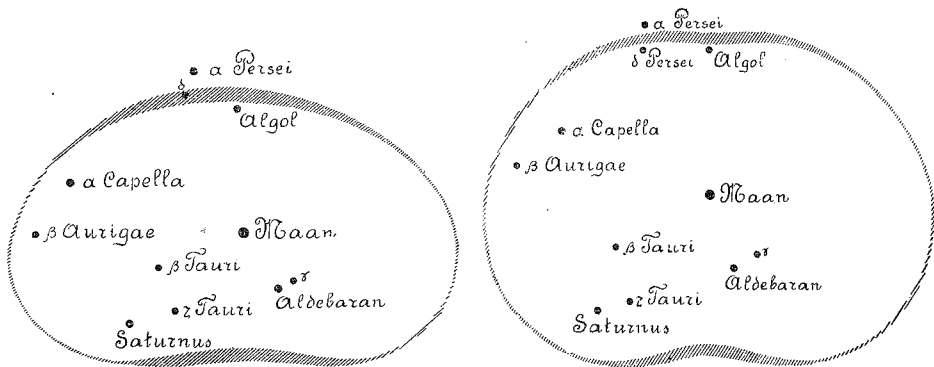
Figuur 8. Het schietloodkwadrant.

e. *Duimstok op armlengte.* In plaats van de jakobsstaf kan men ook een maatlat zo goed mogelijk met gestrekte arm loodrecht op de blikrichting houden. Men moet hierbij bij iedere meting de afstand van het oog tot de maatlat meten; deze afstand is nl. afhankelijk van de armhouding, omdat het draaipunt van de arm in het schoudergewricht niet samenvalt met het oog. Met enige zorg kan men op deze wijze goede resultaten verkrijgen.

f. *De vingers van de hand.* Een ruwe hoekmeting, die men alleen als eerste hulpmiddel mag toepassen, verkrijgt men met de vingers op armlengte, b.v. de duim of een of meer aangesloten vingers. De kring van  $22^\circ$  komt ongeveer overeen met de afstand van duim tot pink, als men deze zo ver mogelijk strekt. De gebalde vuist omvat  $8^\circ$ , de breedte van de middelvinger  $2^\circ$ , de knokkels tussen pink en ringvinger, tussen ringvinger en middelvinger eveneens  $2^\circ$ , tussen middelvinger en wijsvinger  $3^\circ$ .

g. *De sterren.* Een goede gelegenheid om afstanden te meten, leveren de sterren. Men mag nimmer verzuimen de optische verschijnselen met behulp van de sterren vast te leggen. De sterren hebben hun vaste goed

bekende plaats aan de hemel en hun onderlinge afstanden zijn nauwkeurig bekend. Kent men de namen der sterren niet, dan maakt men een schetsje. Het K.N.M.I. weet dan in de regel wel uit te maken met welke sterren men te doen heeft. Kent men ze wel, des te beter. Een sterrenatlas kan hierbij goede diensten bewijzen <sup>1)</sup>. Wat hiermede te bereiken is, toont fig. 9a en b duidelijk aan; a geeft de ontvangen tekening van de waarnemer weer; b de werkelijke verhoudingen na aangebrachte verbeteringen.



Figuur 9. Halo van 29 december 1914. Maanshoogte 39°. Sterwaarnemingen, a. waargenomen; b. juiste stand.

### Betrouwbare schattingen

Voor ringvormige verschijnselen in de onmiddellijke omgeving van de zon of de maan kan men de afmetingen vergelijken met die van deze hemellichten. Beide hebben een middellijn van omstreeks  $\frac{1}{2}^\circ$ . Men leert gemakkelijk de straal van zo'n ring in zonsmiddellijnen schatten. De hoogte van de zon doet er niet toe, omdat de ring, die men wil weten, in dezelfde mate als de zon bij de horizon vergroot lijkt. Gebruik een donkere bril of een zwarte spiegel!

Voor grotere afstanden is vaak een goede vergelijking mogelijk met de gewone kring om de zon of de maan, die een straal heeft van  $22^\circ$ . Men schat de te meten afstand in tiende delen van de kring. Men mag dergelijke schattingen alleen in de omgeving van de kring toepassen.

<sup>1)</sup> Sterrengids, uitgegeven in opdracht van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde en samengesteld door Dr J. J. Raimond: J. B. Wolters, Groningen (Jaarlijkse Uitgave).

## **Kleurwaarnemingen**

Het waarnemen van de kleur kan enige moeilijkheden opleveren, omdat vaak geen zuivere spectrale kleuren aanwezig zijn maar mengkleuren, waarvan de omschrijving, ook voor een normale kleur-gevoelige waarnemer, niet gemakkelijk is. Zo is de krans om de maan nooit zuiver rood, maar eerder bruinachtig en komen er, ook bij de regenboog, allerlei overgangen van groen naar blauw, van blauw naar violet, purper en rose voor.

Een kleurenblinde doet goed, zich niet aan kleurbeschrijvingen te wagen, omdat zijn kleurenvisie abnormaal is en bij de beoordeling maar verwarring sticht.

Kleuren in de omgeving van de zon moet men waarnemen met een donkere, ongekleurde bril of in een zwarte spiegel (desnoods in een plas water). Deze hulpmiddelen zijn noodzakelijk om het oog te beschermen.



### 3 *Optische verschijnselen in gassen* (de atmosfeer)

In het volgende zal vaak alleen over de zon gesproken worden; alle verschijnselen gelden echter even goed voor de maan.

#### **Straalbreking**

In de atmosfeer heeft straalbreking plaats. De lichtstralen van de hemellichamen worden in de atmosfeer, omdat de lucht steeds dichter wordt naarmate ze dieper doordringen, geleidelijk in toenemende mate naar de normaal toe gebroken. Daardoor lijken de hemellichten iets hoger te staan dan in werkelijkheid het geval is; bij de horizon wordt het verschil ongeveer  $\frac{1}{2}^\circ$ . Dit betekent, dat de zon reeds ondergegaan is, wanneer zij voor de waarnemer op de horizon komt te staan. Dit is de normale straalbreking, die verder niet besproken zal worden.

#### **Abnormale straalbreking**

Er komen verschillende verschijnselen voor, waarbij de straalbreking niet normaal verloopt.

*Vervorming van de zon bij de horizon.* De zon gaat niet altijd als een cirkelronde schijf onder. Zij is dikwijls afgeplat, de rand kan hoekig en kartelig zijn; soms splitst zij zich volgens een horizontale scheidingslijn.

Deze abnormaliteiten ontstaan door de aanwezigheid van horizontale luchtlagen van verschillende temperatuur en dus verschillende dichtheid. De normale stralengang wordt bij de overgang naar zulke lagen gewijzigd en dit betekent, dat de richting, waarin het licht tenslotte het oog bereikt, onregelmatig verandert. Hierdoor komen dan de vervormingen tot stand.

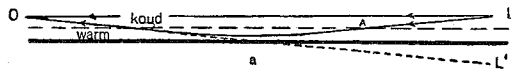
*De groene straal.* De groene straal doet zich voor als een groen (soms ook blauw) lichtschijnsel van hoogstens enkele seconden duur boven de zon, als slechts een uiterst klein deel van de zonneschijf zichtbaar is, zowel bij zonsopkomst als bij zonsondergang. Hij kan boven zee of boven land optreden. Men zal lang niet altijd een echte „groene straal” zien. Vaak verloopt het verschijnsel zo, dat het laatste (eerste) segment van de zon groen gekleurd is. Soms kan men de groene straal opmerken, wanneer de zon laag boven de horizon boven een wolk

verdwijnt of te voorschijn komt, zelfs ook wel boven een ver verwijderd dak.

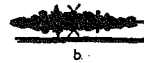
De straalbreking in de atmosfeer geeft aanleiding tot de vorming van een spectrum. De werking komt overeen met die van een prisma, dat het zonlicht een deviatie van  $\frac{1}{2}^\circ$  naar boven doet ondergaan. In het gevormde spectrum wordt het blauwe einde het sterkst gebroken en dit bevindt zich dus bovenaan en wanneer de zon tot onder de horizon daalt, blijft het blauw het laatst over. Dit laatste deel van het spectrum doet de juist ondergegane zon met een groen of blauw schijnsel verdwijnen. Omgekeerd komt de groene straal bij opkomende zon vooraan.

Deze verklaring is echter niet afdoende. Men ziet nl. de groene straal lang niet zo algemeen als deze eenvoudige verklaring zou doen verwachten. Onder gewone omstandigheden is het kleureffect veel te zwak om de aandacht te trekken en er is zeker ook onregelmatige straalbreking noodzakelijk om het verschijnsel goed te voorschijn te doen treden. Hierop wijzen ook waarnemingen waaruit blijkt, dat het verschijnsel alleen in een smalle laag te zien komt.

*Luchtspiegelingen.* Het verschijnsel in zijn eenvoudigste gedaante neemt men waar op door de zon sterk verwarmde wegen. Men meent op enige afstand een plas water te zien staan waarin de „lucht spiegelt”. Op dezelfde wijze komt op het vlakke land de gespiegelde kim tot stand (fig. 10b), die van warme zonnedagen bekend is. Ook eilanden kan



Figuur 10. Ontstaan van luchtspiegeling naar beneden.

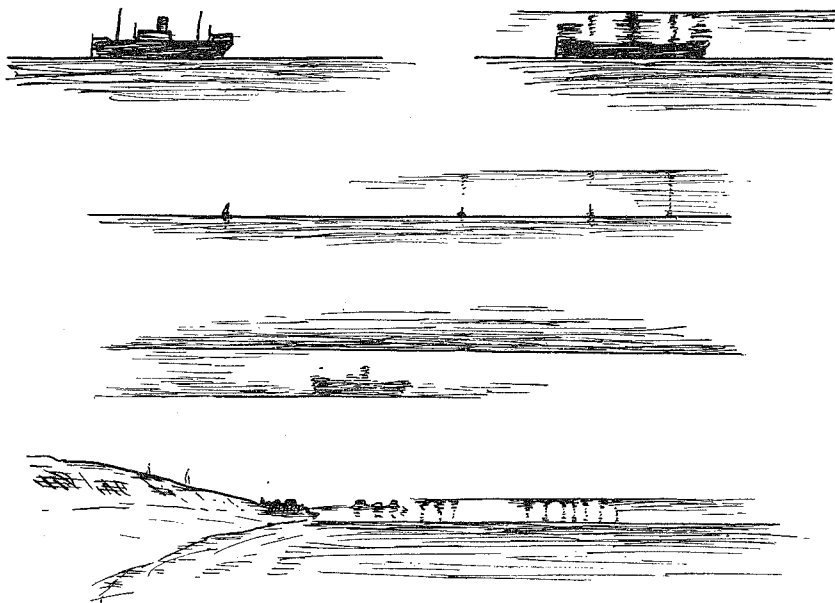


Figuur 11. Ontstaan van luchtspiegeling naar boven.

men zo zien zweven en spiegelen. Het is hetzelfde verschijnsel, dat in de woestijn als *fata morgana* bekend staat. Men noemt het „*luchtspiegeling naar beneden*”.

Ook het omgekeerde effect kan voorkomen. Dan ziet men een spiegelbeeld **b o v e n** het ver verwijderde landschap, de „*luchtspiegeling naar boven*” (fig. 12 naar tekeningen van Dr J. Pinkhof).

Het komt ook voor, dat het spiegelbeeld zich niet precies in de vertikaal door het voorwerp vormt.



Figuur 12. Luchtspiegeling van 23 mei 1933. Tekening Dr. J. Pinkhof.

Boven de warme luchtlaag vlak boven de weg heeft de breking van de lichtstraal LA (fig. 10) van de normaal af plaats. Dit gaat door tot er totale terugkaatsing optreedt. Dan keert de straal naar boven en bereikt tenslotte het oog O. Dit krijgt de indruk, dat het licht uit L' komt. Door de koude laag komt ook het ongestoorde licht tot het oog langs de directe weg LO. Men ziet het voorwerp L rechtstreeks en tevens gespiegeld in L'. Het tafereel hangt af van de hoogte van het oog. Wanneer de warme laag zich boven de koude bevindt, wordt de lichtstraal naar beneden teruggekaatsd en treedt de luchtspiegeling naar boven op (fig. 11).

Staat het spiegelbeeld niet precies in de vertikaal, dan ligt het spiegelende luchtvlak niet horizontaal maar helt het dwars ten opzichte van de waarnemer.

Een buitengewoon sterke luchtspiegeling naar boven staat bekend als het *Nova-zembla-verschijnsel*, zo genoemd naar de waarnemingen tijdens de overwintering op Nova Zembla in 1596–1597. Men zag de zon verschijnen op 24 januari 1597, 14 dagen vóór de astronomisch

berekende datum. Ook op 27 en 31 januari en op 8 februari zag men analoge verschijnselen. Op de eerste dag moest de normaal schijnende zon nog ruim  $4^\circ$  beneden de horizon staan. Hetzelfde is gezien bij de Shackleton-expeditie in de Weddell-zee op 8 mei 1915, 7 dagen na het normaal verdwijnen van de zon en op 26 juli, 5 dagen te vroeg. De zon stond op 8 mei  $2^\circ$  onder de horizon, op 26 juli  $1,5^\circ$ .

Het Nova-zembla-verschijnsel wordt opgewekt door herhaalde totale terugkaatsing van het licht aan de bovenzijde van een grond-inversie. Deze moest zich op 24 januari 1597 uitstrekken over een afstand van 400 km in zuidelijke richting. De vereiste temperatuurgradiënt bedraagt minstens  $9^\circ$ , een waarde, die gebonden is aan zeer lage temperaturen aan de grond ( $-32^\circ \text{C}$ ). Het verschijnsel moet tot de poolstreken beperkt blijven.

*Het flikkeren van de sterren.* Het flikkeren van de sterren valt buiten het bestek van dit boekje, maar wordt hier volledigheidshalve genoemd. De sterren kunnen rustig aan de hemel staan, maar ook sterk flikkeren, afhankelijk van de meteorologische omstandigheden.

De verklaring van het verschijnsel ligt in de onrust van de atmosfeer. De oorzaak is dezelfde als het trillen van het landschap op een warme zomerdag. Verwarmde lucht stijgt op en wisselt van plaats met luchtslierten van lagere temperatuur. Hierdoor komt onregelmatige breking van het doervallende licht tot stand, zodat de richting, waarin een bepaald voorwerp gezien wordt, zich steeds met kleine bedragen wijzigt. Hierbij wisselt ook de intensiteit van het licht.

### **Zichtbare geluidsgolven**

Een verschijnsel, dat zich niet laat inpassen in het Overzicht op blz. 11, bestaat uit de lichte, witte kringen, die men tijdens luchtgevechten in de oorlog met grote snelheden langs de hemel zag trekken. Zij hangen duidelijk samen met de ontploffingen en zijn zichtbaar geworden geluidsgolven.

Ze ontstaan, omdat er in de geluidsgolven in de verdichtingen van de lucht adiabatische verwarming plaats heeft, in de verdunningen afkoeling. Bij gunstige, hoge vochtigheid gaan deze warmte-effecten gepaard met condensatie van de waterdamp bij de afkoeling, dus met wolvorming, met verdamping bij de verwarming. Het zijn deze condensatieverschijnselen, die de geluidsgolven zichtbaar maken.

## LITERATUUR

### *Groene straal.*

- P. FEENSTRA KUIPER, De groene straal. Proefschrift Utrecht, Helder, 1926.  
S. W. VISSER en J. TH. VERSTELLE, Groene straal en kimduiking, Hemel en Dampkring, **32**, 81—87, 1934.

### *Nova Zembla-verschijnsel.*

- G. DE VEER, Vertellinge van de derde Seylagie by noorden om. Werken Linschoten-Vereeniging XIV, 1917.  
E. SHACKLETON, South The story of Shackleton's last expedition 1914—1917. London, 1920, p. 49, 56.  
S. W. VISSER, Het Nova-zembla-verschijnsel, Proc. Roy. Acad. Sc. Amsterdam **59** Series B, 375—385, 1956.

### *Zichtbare geluidsgolven.*

- H. TEN KATE, Zichtbare geluidsgolven, Hemel en Dampkring, **43**, 61—71, 1945.

## 4 *Optische verschijnselen in vloeistoffen* (water)

### De regenboog

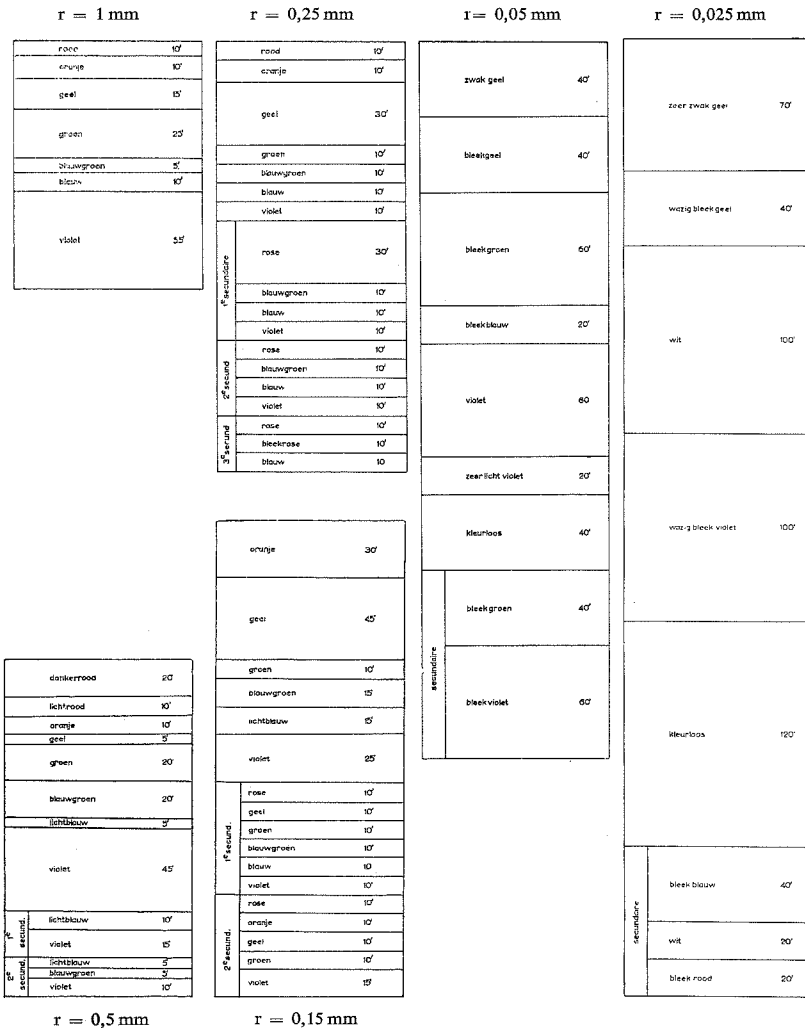
De regenboog is een in regendroppels gevormde cirkelvormige, gekleurde boog aan de hemel tegenover de zon. Het middelpunt van deze cirkelboog is het tegenpunt van de zon aan de hemel en het ligt dus even ver onder de horizon als de zon erboven staat. De straal van de regenboog is  $42^\circ$ . Staat de zon juist in de horizon, dan rijst de regenboog tot  $42^\circ$  hoogte op, tot bijna halfweg het zenit. Toch maakt de regenboog dan altijd een veel hogere indruk als gevolg van de schijnbare afplatting van het hemelgewelf (blz. 18). Staat de zon hoger dan  $42^\circ$ , dan kan de regenboog niet meer aan de hemel zichtbaar worden. Bij een zonshoogte van juist  $42^\circ$  ziet men de kleuren tegenover de zon juist op de horizon liggen.

Behalve de gewone regenboog, die men de *hoofdregenboog* noemt, kan zich op enige afstand erbuiten een tweede vormen, de *bijregenboog*. Op Plaat I, naar een schilderij van Rubens, ziet men deze rechtsboven aangeduid. Wie eraan denkt, dat de regenboog altijd tegenover de zon staat, zal opmerken, dat in het schilderstuk van Rubens het zonlicht van links invalt!

Aan de binnenzijde van de hoofdregenboog komen vaak kleurherhalingen voor, die als de *secundaire bogen* bekend staan.

Ook bij de maan kan de regenboog zich vormen, de *maanregenboog*. Omdat het maanlicht zwak is, komt er van de kleuren niets meer te zien dan soms wat rood en daarom wordt hij vaak niet als regenboog herkend.

De kleuren zijn zelden alle geijkte „regenboogkleuren”, rood, oranje, geel, groen, blauw, (indigo), violet, maar vertonen allerlei verschillen in hun breedte en hun lichtsterkte. Steeds is het zo, dat het rood in de hoofdboog aan de buitenkant staat, soms zeer breed en lichtsterk, soms smal of zelfs zo goed als ontbrekend. Het groen is vaak afwezig, het violet staat aan de binnenkant, maar wordt dikwijls overdekt door de secundaire bogen. Van deze kunnen er twee of meer zijn en ze kunnen door een kleurloze band van de hoofdboog gescheiden zijn. De regenboog kan zich vertonen als een brede witte band met een zwakke bleekrode buitenrand en een zwakke, bleekblauwachtige binnenrand. Zó ziet men hem alleen in mist of nevel en dan staat hij



Figuur 13. De kleuren van de regenboog en de secundaire bogen.

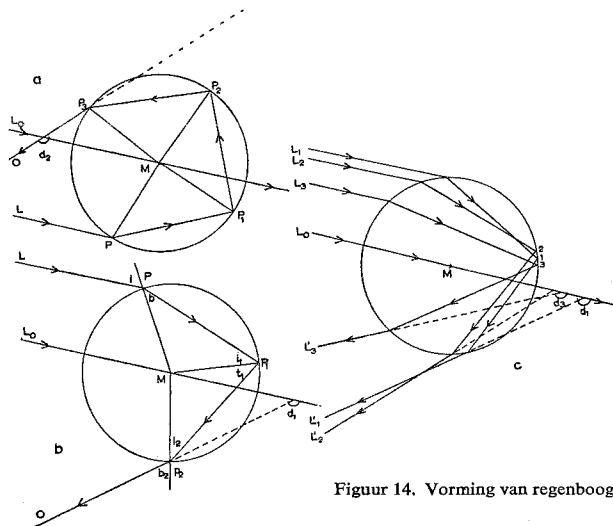
bekend als de *mist- of nevelboog*. In de bijregenboog zijn als regel de kleuren minder sterk en komen de secundairen niet tot ontwikkeling. Van de verschillende mogelijkheden geeft fig. 13 in een aantal een-

voudige kleurschema's een beeld. De kleuren zijn afhankelijk van de grootte der regendroppels en deze is bij ieder schema aangegeven. Hieruit blijkt, dat de breedste en tegelijk minst gekleurde regenbogen optreden bij de kleinste droppels (met een straal van 0,025 mm); dit zijn de typische mistbogen hierboven genoemd. De hoofdregenboog is het smalste voor regendroppels tussen 0,25 en 0,5 mm.

Het aanzien van de regenboog met zijn kleuren is zo karakteristiek, dat men er gevolgtrekkingen uit kan maken over de grootte van de droppels. Soms ziet men tijdens een regenbui de kleuren veranderen. Men kan er dan zeker van zijn, dat de droppelgrootte zich wijzigt.

Men kan soms de regenboog op geringe afstand tegen de achtergrond van het landschap zien. Hij kan ook als een op de grond liggende boog worden gezien, wanneer hij in dauwdroppels in het weiland gevormd wordt. Men spreekt dan van de *dauwboog*. Het verschijnsel ontstaat ook in de droppels van een tuinsproeier, in het sproeiwater om de boeg van een schip en onder andere dergelijke omstandigheden.

De regenboog ontstaat door breking en terugkaatsing in regendroppels, waarbij ook interferentieverschijnselen optreden.



Figuur 14. Vorming van regenboog en bijregenboog.

De gang der lichtstralen is voor beide regenbogen in fig. 14a en b afgebeeld, voor het geval dat de deviatie een minimum is. De in de waterdruppels invallende lichtstraal (fig. 14b) is LP, de normaal PM,



de naar de normaal toe gebroken straal is  $PP_1$ , de invalshoek is  $i$ , de brekingshoek  $b$ . In  $P_1$  wordt de straal teruggekaatst; de normaal is  $P_1M$ , de invalshoek is  $i_1$ , de terugkaatsingshoek  $t_1$  ( $i_1 = t_1$ ). Bij  $P_2$  treedt de straal uit de druppel in de lucht uit; de normaal is  $P_2M$ , de invalshoek is  $i_2$  de brekingshoek  $b_2$ ; de straal wordt nu van de normaal afgebroken. Het oog  $O$  ziet het lichtbeeld in de richting  $OP_2$ .

Voor de bijregenboog komt er nog een tweede inwendige terugkaatsing in de druppel bij. De gang van de lichtstralen is nu  $LPP_1P_2P_3$  (fig. 14a). Het licht treedt bij  $P_3$  uit en het oog ziet het lichtbeeld in de richting  $OP_3$ .

De deviatie is de stompe hoek tussen het invallende en het uittreedende licht (resp.  $d_1$  en  $d_2$ ). Het minimum van deviatie is voor het rood in de hoofdboog  $138^\circ$ , in de bijboog  $130^\circ$ . De hoek tussen  $OP_2$  en  $OP_3$  is dus  $8^\circ$ ; het violet vormt zich aan de binnenkant van de hoofdboog, doch bij de bijboog aan de buitenkant, resp. op  $140^\circ$  en  $126^\circ$ . De tekening geeft alleen de breking weer in het vlak van het papier. Houdt men het papier zo, dat de richting  $L_0M$  van de lichtstralen met die van de zonnestralen overeenkomt en draait men het papier vervolgens om de lijn  $L_0M$ , dan draaien de lijnen  $OP_2$  en  $OP_3$  om de lijn  $L_0M$  en ontstaan de cirkelvormige regenbogen.

De straal van de hoofdboog, gemeten met het tegenpunt van de zon als middelpunt, is voor het rood  $180^\circ - 138^\circ = 42^\circ$ , voor het violet  $180^\circ - 140^\circ = 40^\circ$ ; voor de bijregenboog: rood  $180^\circ - 130^\circ = 50^\circ$ , violet  $180^\circ - 126^\circ = 54^\circ$ .

In fig. 14c is de gang van vier lichtstralen  $L_1, L_2, L_3$  en  $L_0$  getekend. De invallende stralen, afkomstig van de zon, kunnen als evenwijdig lopend beschouwd worden, maar de uittreedende niet meer. Voor één bepaalde stand  $L_2$  is de deviatie een minimum. Men vindt de deviatie in de figuur als de stompe hoek tussen de verlengde uittreedende straal  $L'_1, L'_2, L'_3$  en de ongebroken doorgaande  $L_0M$ .

In de nabijheid van het minimum gaan de lichtstralen interfereren. Daardoor vormen er zich in de omgeving van het minimum op regelmatige afstanden van het minimum versterkingen en uitdovingen van het licht, welke afhankelijk zijn van de golflengten. Iedere kleur vertoont een eigen systeem van dergelijke interferentie-ringen. Hierdoor wordt het normale spectrum verstoord en bovendien ontstaan er aan de binnenzijde van de hoofdboog die gekleurde ringen, die de secundaire bogen zijn genoemd.

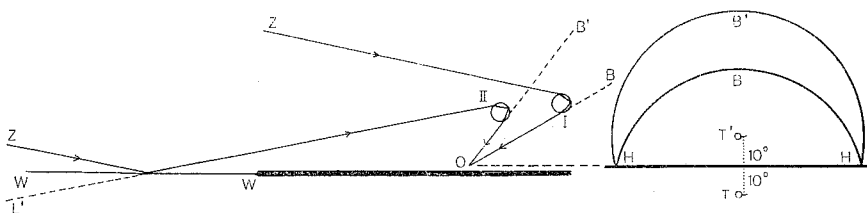
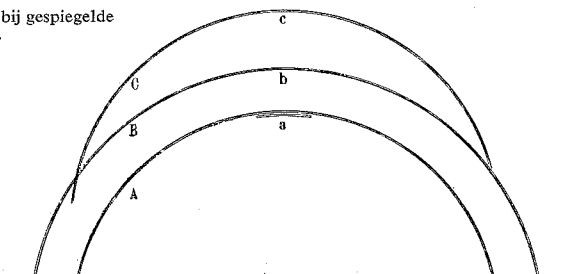
De kleurenschema's van fig. 13 zijn ontleend aan de berekeningen van Pernter, die gebaseerd zijn op de „kleurendriehoek van Maxwell”. Volgens tegenwoordig inzicht zijn de resultaten van Pernter niet geheel

juist meer. De kleuren worden nu beschreven door middel van de „internationale trichromatische kleurspecificatie”. Op geen van beide methodes kan in dit boekje worden ingegaan. Prins en Reesinck hebben de moderne werkwijze toegepast op de regenboog bij enkele droppelgrootten. Zij komen tot het besluit, dat men bij vergelijking van hun resultaten met die van Pernter in hoofdzaak overeenstemming vindt, maar in bijzaken nog al eens verschillen. De kleurenschema's van Pernter, die wel in hoofdzaak juist zijn, zijn daarom gehandhaafd, vooral ook, omdat zij een duidelijk en eenvoudig beeld geven van de regenboogkleuren.

*De regenboog bij gespiegelde zon.* Nog een derde regenboog is mogelijk (fig. 15). Wanneer zonlicht in rustig water gespiegeld wordt, kunnen de teruggekaatste stralen aanleiding geven tot de vorming van een regenboog.

Fig. 16 geeft weer hoe deze regenboog tot stand komt. De Zon Z staat  $10^\circ$  hoog. Het directe zonlicht geeft na breking in de droppel I de gewone regenboog B in de vorm van een cirkel met  $42^\circ$  straal om het tegenpunt T van de zon, dat  $10^\circ$  onder de horizon HH ligt. Daarentegen staat het spiegelbeeld van de zon  $L'$  in het watervlak WW  $10^\circ$

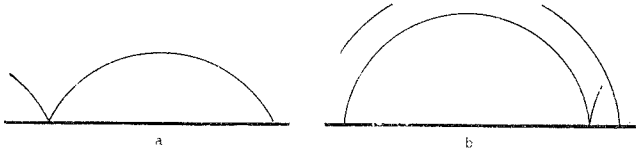
Figuur 15. Regenboog bij gespiegelde zon, 29 november 1930.



Figuur 16. Vorming van de regenboog bij gespiegelde zon.

onder de horizon en dit geeft na breking in de druppel II de regenboog  $B'$ , in de vorm van een cirkel van  $42^\circ$  straal om het tegenpunt  $T'$  van het spiegelbeeld der zon. Dit tegenpunt ligt  $10^\circ$  boven de horizon. De middelpunten en ook de toppunten der beide bogen verschillen  $20^\circ$ . Beide bogen moeten elkander op de horizon snijden.

*Ongewone regenbogen.* Herhaaldelijk heeft men boogjes gezien als in fig. 17a en b (De Bilt 1 aug. 1900 en Vlieland 16 okt. 1903). Een verklaring van dergelijke boogjes is nog niet gegeven.



Figuur 17. Ongewone regenbogen.  
a. 16 oktober 1903 (zonshoogte  $16,3^\circ$ ); b. 1 augustus 1900 (zonshoogte  $4^\circ 40'$ ).

## LITERATUUR

J. A. PRINS en J. J. M. REESINCK, Buigingstheorie en trichromatische specificatie van de regenboogkleuren, *Physica*, **11**, 49—60, 1944.

## De krans

In deze paragraaf zullen zowel de kransen in waterdruppels als in ijskristallen worden besproken.

Een krans bestaat uit gekleurde ringen van geringe diameter rondom de lichtbron. De eenvoudigste krans bestaat uit een enkele roodachtige ring; in zijn volledigste vorm kan de krans een aantal fraai gekleurde ringen omvatten. Men telt het aantal naar de malen dat het rood zich herhaalt. Vijf en meer ringen kunnen voorkomen. Gebruik bij waarnemingen bij de zon steeds een donkere, ongekleurde bril of een zwarte spiegel.

De afmeting van de krans kan zeer verschillend zijn. De enkelvoudige krans varieert van een zwakke roodkleuring zeer dicht bij de lichtbron tot een wijde ring van meer dan  $5^\circ$  straal; de samengestelde krans kan uit heel nauwe maar ook uit heel wijde ringen bestaan. De uiterste rode ring kan meer dan  $12^\circ$  straal bezitten.

Het is alleen van belang die kransen aan het K.N.M.I. te melden, die zich door hun afmetingen of door hun rijkdom aan ringen en kleuren

onderscheiden. Zo mogelijk geve men de stralen van de opeenvolgende ringen op, die men kan schatten door vergelijking met de middellijn van zon of maan ( $\frac{1}{2}^\circ$ ). De waarnemer trachte de kleuren zo goed mogelijk te omschrijven.

De kleuren ontstaan omdat door interferentie op iedere afstand bepaalde kleuren geheel worden uitgedoofd, andere versterkt. Daardoor komen fraaie mengkleuren tot stand, zeegroen, blauwgroen, rose, purper.

Of men met kransen in waterdruppels of ijskristallen te maken heeft, kan blijken uit de wolken waarin ze voorkomen. Daarom geve men steeds de wolkenvorm op. Wanneer er tegelijk halo's te zien zijn, lette men er terdege op of de krans al dan niet in een andere (lager drijvende) wolkenvorm voorkomt dan de kring.

Vaak, vooral aan de rand van de wolk, is de ring niet cirkelvormig. Dit wijst erop, dat de wolkendeeltjes ongelijke afmetingen hebben; ze zijn het grootst waar de afstand tot de lichtbron het kleinst is. Dikwijls kan men dan ook opmerken, dat de afmetingen op de duur veranderen. Kleiner worden wil zeggen dat de druppels groter worden. Worden de ringen groter, dan worden de druppels kleiner.

Behalve bij de zon en de maan worden ook kransen waargenomen bij de helderste planeten, Venus en Jupiter.

De krans ontstaat door buiging van het licht door kleine waterdruppels of ijskristallen. De waterdruppels werken als cirkelvormige schermen, waaromheen het licht gebogen wordt. Ook bij kristallen heeft dergelijke „uitwendige buiging” plaats, maar tegelijkertijd treedt ook „inwendige buiging” op bij het licht dat door het kristal heengaat. In het eerste geval gedraagt het kristal zich als een langwerpige scherm, in het tweede geval als een spleet. Zowel bij druppels als bij kristallen ontstaan lichtminima en lichtmaxima, zoals in hoofdstuk 1 besproken is. De afstand van de lichtminima wordt gegeven door de volgende vergelijkingen:

voor waterdruppels

voor ijskristallen

$$\sin b = (n + 0,22) \frac{l}{r}$$

$$\sin b = n \frac{l}{a}$$

$b$  is de buigingshoek, d.i. de hoek waarop voor de kleur, bepaald door de golflengte, het minimum valt;  $n$  is het rangnummer van de ring;  $l$  is de golflengte<sup>1)</sup>;  $r$  de straal van de waterdruppel;  $a$  de afmeting van het kristalvlak dat de buiging teweegbrengt.

1) Het gebruik van Griekse letters wordt in dit boekje vermeden.

Uit deze formules leiden we de volgende drie regels af:

1. De hoek  $b$  is het kleinst voor de kortste golflengte  $l$ , dus het kleinst voor het violet, het grootst voor het rood. Het rood ligt dan ook steeds aan de buitenkant, ook voor de wijdere ringen van de krans.

2. De hoek  $b$  is het kleinst als de afmeting van de buigende deeltjes ( $r$  of  $a$ ) het grootst is. De kleuren komen het fraaist tot stand, als alle buigende deeltjes even groot zijn. Zijn ze dat niet, dan geeft iedere grootte een ander ringensysteem en de kleuren vervagen. Als regel ziet men dan ook alleen één rode of roodachtige tot bruine ring.

Hieruit volgt, dat de kransen in regenwolken de mooiste keuren geven. Een waterdruppel is bolvormig en zijn afmetingen zijn in alle richtingen gelijk aan de middellijn  $2r$ . Dit is bij een ijskristal zeker niet het geval. Toch zijn ook in ijswolken (Cirrus e.d.) kransen wel mogelijk, maar de fraaiste kransen komen tot stand in waterwolken met even grote druppels.

3. De opeenvolgende ringen (bepaald door het rangnummer  $n$ ) liggen in kransen in ijswolken op gelijke afstanden van elkaar; bij kransen in regendruppels neemt de onderlinge afstand af voor wijdere kransen. De verschillen zijn echter gering en de waarnemingen kunnen niet nauwkeurig genoeg gedaan worden om ze met zekerheid te kunnen vaststellen.

#### LITERATUUR

G. C. SIMPSON, Coronae and iridescent clouds, Qu. J. Roy. met. Soc., 38, 291—299, 1912.

S. W. VISSER, Over de vorming van kransen in ijswolken, Versl. Kon. Ned. Acad. v. Wet. Amsterdam, 52, 53—57, 1943.

#### Iriserende wolken

Men ziet *iriserende wolken* gewoonlijk als fraai gekleurde ijle rafels langs de randen van een wolk waarachter de zon schijnt. Ze rangschikken zich niet als ringen om de zon zoals de gewone kransen, maar vaak in banden die min of meer evenwijdig lopen aan een wolkrand, dikwijls ook in onregelmatige slierten. Ze worden ook wel op veel grotere afstand van de zon gezien, soms zelfs tot op  $40^\circ$  <sup>1)</sup>.

Ze zijn het gevolg van buiging. Daar waar de kleur gelijk is, moeten

<sup>1)</sup> Ook de damp boven een kopje thee en andere verdampende vloeistoffen kan in de zonneschijn fraai iriseren.

de lichtbuigende deeltjes even groot zijn. De kleuren wijzigen zich met de grootte der deeltjes en ze kunnen dus alleen tot stand komen, wanneer in betrekkelijk grote ruimten de deeltjes nauwkeurig gelijk zijn. Zijn ze dat niet, dan ziet men alleen de welbekende lichtende wolkenrand. Het moeten als regel even grote waterdruppels zijn, die de irisatie veroorzaken.

De irisatie op grote afstand van de lichtbron is als volgt te verklaren. Het zonlicht wordt zeker op de wolkendeeltjes teruggekaatst en ook in deze teruggekaatste lichtstralen moet buiging optreden. De voorwaarden voor het ontstaan van fraaie kleuren zijn geheel gelijk aan die van de buigingsverschijnselen in het directe zonlicht in de onmiddellijke nabijheid van de lichtbron.

### **De glorie**

De *glorie* is een gekleurde al dan niet samengestelde krans op de wolken rondom de schaduw van de waarnemer. De glorie wordt gezien met de zon in de rug op een wolkenlaag beneden de waarnemer. Het is daarom een verschijnsel dat in de bergen welbekend is („Brockengespenst“). In een vliegtuig kan men het rondom de schaduw van de machine op de wolken zien, in vlak land somtijds op een lage mist- of nevelbank of op een bedauwde grasmat.

De glorie is een buigingsverschijnsel, dat tot stand komt in het op de wolkendeeltjes teruggekaatste zonlicht. Voor een goede ontwikkeling is het noodzakelijk, dat de wolkendeeltjes alle even groot zijn.

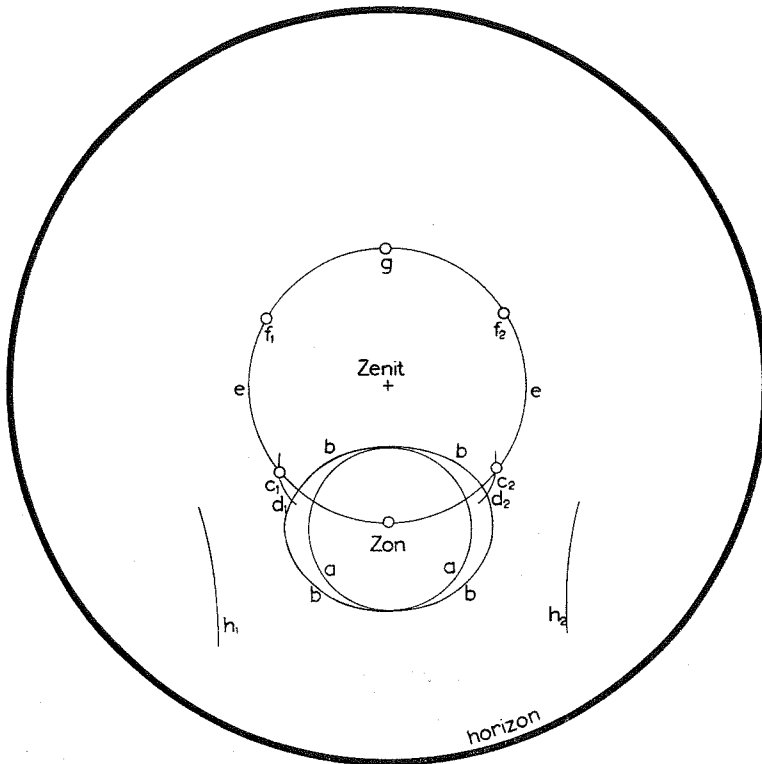
## 5 Optische verschijnselen in vaste stoffen

Wij onderscheiden: 1°. optische verschijnselen in ijskristallen; 2°. optische verschijnselen bij vaste deeltjes van andere aard in de atmosfeer (blz. 99).

### Ijskristallen – Haloverschijnselen

*Halo's* zijn lichtverschijnselen van allerlei gedaanten, die ontstaan door breking en terugkaatsing in ijskristallen. Ook buiging en interferentie treden hierbij op.

Fig. 18 geeft een beeld van een uitgebreide halo. De grootste, zwaar



Figuur 18. Een uitgebreide halo. Zonshoogte 50°.

getekende cirkel stelt de horizon voor; het zenit, het hoogste punt aan de hemel, valt samen met het middelpunt van deze cirkel. De figuur geeft op deze wijze een eenvoudig, overzichtelijk beeld van de stand van de halo aan de hemel. De zon staat op  $50^\circ$  boven de horizon. De volgende halovormen komen in deze figuur voor: *aa* de kleine kring; *bbbb* de omgeschreven of omhullende halo;  $c_1$  en  $c_2$  de bijzonnen;  $d_1$  en  $d_2$  de bogen van Lowitz; *ee* de parhelische ring;  $f_1$  en  $f_2$  de bijtegenzonnen; *g* de tegenzon;  $h_1$  en  $h_2$  de benedenzijdelingse raakbogen aan de grote kring. Zij zullen alle in het volgende nader besproken worden.

In de eerste plaats zullen de vormen van de ijskristallen behandeld worden; daarna de wolken, waarin zij voorkomen; vervolgens de stand, die zij in deze wolken innemen; daarna de optische werking van het ijskristal en eindelijk de talrijke halovormen, die hierbij kunnen ontstaan.

### Ijskristallen

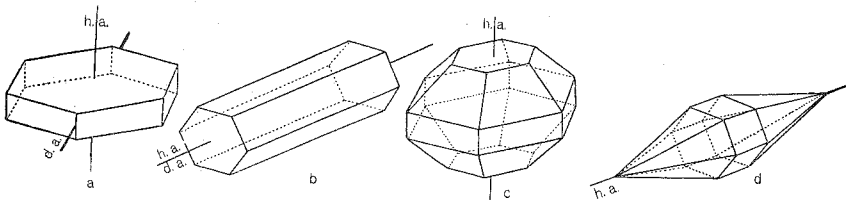
Het ijs komt in de atmosfeer voor in de vorm van regelmatige kristallen van het z.g. hexagonale stelsel. De regelmatige zeshoek vormt de grondslag van dit stelsel (hexagonaal = zeshoekig). Welbekend zijn de zeskantige plaatjes en de zespuntige sterretjes, waaruit soms de vallende sneeuw bestaat. Voor de halovorming komen over het algemeen eenvoudige ijskristallen in aanmerking. Dit zijn in hoofdzaak prisma's waarvan de doorsnede loodrecht op de opstaande ribben een regelmatige zeshoek is. De richting loodrecht op deze doorsnede wordt de *hoofdas* genoemd.

De hoofdvormen der ijskristallen zijn:

- 1°. prisma's met zeer korte hoofdas: *plaatjes* genaamd;
- 2°. prisma's met zeer lange hoofdas: *zuiltjes* of *naaldjes*. Beide worden in de regel door platte vlakken, loodrecht op de hoofdas, afgesloten. Deze platte vlakken noemt men de *basisvlakken*;
- 3°. kristallen, waarbij aan een of beide zijden de basisvlakken door piramides zijn vervangen. Deze piramides kunnen volledig ontwikkeld of door basisvlakken afgeknot zijn. De piramides kunnen meer of minder stomp zijn. Ze worden van elkaar onderscheiden door de hellingen van de piramidevlakken ten opzichte van de hoofdas. De helling kan steiler of minder steil zijn (zie blz. 70 e.v.). De lengte van zo'n kristal met piramides kan kort of lang zijn; het kristal kan dus het karakter van een plaatje of van een zuiltje hebben.

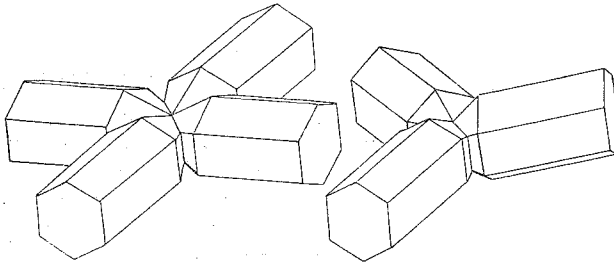


De drie genoemde hoofdvormen zijn in fig. 19 afgebeeld (*a* plaatje; *b* zuiltje; *c* en *d* kristallen met piramides).



Figuur 19. Ijskristallen.

Er komen ook *samengestelde kristallen* voor. Voor de halovorming zijn van belang z.g. drielingen en vierlingen. Een *drieling* bestaat uit drie zuiltjes, die een regelmatige driepuntige ster vormen, een *vierling* uit vier zuiltjes, samengegroeid in de vorm van een kruis (+) (zie fig. 20).



Figuur 20. Vierling- en drielingkristal.

### Ijswolken

De ijskristallen kunnen zich alleen daar ontwikkelen, waar de temperatuur ver beneden het vriespunt is. Dan kunnen zich wolken vormen, die uit ijskristallen bestaan. Deze kristallen komen gewoonlijk alleen op grote hoogte voor.

Het zijn in het bijzonder de *hoge wolken*, die uit ijskristallen zijn samengesteld. Zij komen in de gematigde gewesten in het algemeen tussen 5 en 13 km hoogte voor. Deze hoge wolken omvatten drie „geslachten”: 1. Cirrus (Ci), 2. Cirrocumulus (Cc), 3. Cirrostratus (Cs).

1. *Cirrus*, afzonderlijke wolken in de vorm van tere, witte draden of witte of overwegend witte vlekken of smalle banden. Deze wolken hebben een draderig voorkomen of een zijdeachtige glans. Hiertoe behoren o.a. de „windveren”. Halo’s zijn in *Cirrus* zeldzaam.

2. *Cirrocumulus*, dunne witte wolkenvelden, banken of lagen zonder eigen schaduw, in de vorm van korrels of ribbels, afzonderlijk of samenhangend en min of meer regelmatig gerangschikt; deze wolkjes hebben een breedte van minder dan  $1^\circ$ . De allerfijnste „schapenwolkjes” mag men tot Cc rekenen. Halo’s komen in dit geslacht zo goed als niet voor.

3. *Cirrostratus*, doorzichtige witte wolkenluiser met een vezelig, draderig of glad uiterlijk. Vooral in deze wolken treft men halo-verschijnselen aan. Soms is de luiser geheel doorzichtig en zo ijl, dat er halo’s aan de blauwe hemel te zien zijn!

Voorts kunnen halo’s voorkomen in:

4. *Cumulonimbus* (Cb), zware en dichte wolk met aanzienlijke verticale uitbreiding in de vorm van bergen of hoge torens („stapelwolken”). Bovenaan is ten minste een gedeelte gewoonlijk glad of vezelig of streperig en bijna altijd afgeplat; dit deel breidt zich dikwijls uit in de vorm van een aambeeld. In deze gedeelten, die uit ijskristallen bestaan, kunnen halo’s ontstaan (zie M. Pinkhof, 1919, blz. 74).

5. *Ijsprisma’s*, vallende, onvertakte ijskristallen in de vorm van naalden, zuiltjes of plaatjes, dikwijls zo dun, dat zij in de lucht schijnen te zweven. De kristallen worden vooral zichtbaar, als zij glinsteren in het zonlicht (diamantstof) en zij kunnen dan halo’s vormen in de omgeving van de waarnemer (zie Hemel en Dampkring, 39, 112, 1941; Onw. Opt. Versch. in Ned., 1941, 72, blz. 57–58). Zulke ijsprisma’s, die veelvuldig in de poolstreken voorkomen, ontstaan alleen bij zeer lage temperatuur en in stabiele luchtmassa’s.

6. *Condensatie-strepen*, wolken, die zich achter vliegtuigen uit de verbrandingsgassen ontwikkelen, wanneer de dampkring ter plaatse koud en vochtig is. Ze geven vaak buitengewoon heldere en fraai gekleurde vormen te zien.

### De stand der kristallen

De ijskristallen nemen in de regel alle mogelijke standen aan. Ieder ogenblik verandert hun stand. Dit is vooral het geval in een onrustige atmosfeer met wind en onregelmatige luchtbewegingen. Is de atmo-

sfeer bijzonder rustig, dan vallen de kristallen zeer langzaam en zodanig, dat hun vlak van grootste weerstand zich zuiver horizontaal stelt. Zij nemen dan de stand aan, die in fig. 19a en b voor plaatjes en zuiltjes is afgebeeld. Het plaatje zweeft met het basisvlak horizontaal, dus met de hoofdas (in fig. 19 h.a.) verticaal. Het zuiltje zweeft zo, dat het vlak, waarin de hoofdas en de langste diagonaal van het basisvlak gelegen zijn, horizontaal ligt.

Deze volmaakte zweefstand is zelden aanwezig. Bij een verstoring ervan, b.v. door een zwakke wind, gaan de kristallen wentelen. Dit geschiedt om een bepaalde as, die *draaiingsas* genoemd wordt (d.a. in fig. 19). Voor plaatjes loopt deze as evenwijdig aan de langste diagonaal van het basisvlak, voor zuiltjes is het de hoofdas. Voor beide kristalvormen ligt de draaiingsas horizontaal.

Men heeft ook vaak aangenomen, dat een schommeling van het kristal om de zweefstand mogelijk zou zijn. Dit kan alleen bij uiterst kleine afwijkingen het geval zijn, maar de kans hierop is bij de atmosfeer geheel te verwaarlozen.

De standen van het kristal in de ruimte kan men aanduiden door de richting van de hoofdas. De hoofdindeling is dan als volgt:

1. Hoofdas willekeurig
2. Hoofdas verticaal
3. Hoofdas horizontaal
4. Hoofdas wentelend om een horizontale draaiingsas.

Ieder van deze vier mogelijkheden geeft aanleiding tot de vorming van bepaalde groepen van halo's. De stand van de hoofdas kan een kleine wijziging ondergaan. In dit geval met hellende hoofdas worden *hellende halo's* gevormd. Deze zullen afzonderlijk worden besproken (blz. 96).

### **De optische werking der kristallen**

De hoofdgroepen van optische werking zijn de volgende.

*A.* De kristalvlakken kaatsen het opvallende licht terug. Er ontstaan halo's alleen als gevolg van spiegeling. Deze halovormen zijn alle geheel wit, zonder kleuren.

*B.* De kristallen breken het doorvallende licht. Er ontstaan halo's alleen als gevolg van breking. Ze kunnen ingedeeld worden in groepen naar gelang van de brekende hoek. Deze halo's zijn in de regel gekleurd.

C. Daar men steeds te maken heeft met zeer kleine kristallen, dus met nauwe spleten die het licht doorlaten, moeten hierbij buigings- en interferentie-verschijnselen optreden op dezelfde wijze als bij de kransen werd beschreven. De interferentie heeft invloed op de ontwikkeling der kleuren en doet buigingsringen ontstaan.

D. Het opvallende licht kan herhaaldelijk teruggekaatst en gebroken worden. Herhaalde terugkaatsing kan uitwendig plaats hebben op de vlakken van samengestelde kristallen; inwendig op de vlakken van een enkelvoudig kristal. Herhaalde breking en terugkaatsing kunnen optreden wanneer het licht na een kristal gepasseerd te hebben, opnieuw op een kristal valt.

### Halovormen

Door de verschillende hierboven besproken mogelijkheden bestaat er een grote verscheidenheid van halovormen. Wij hebben deze vormen als volgt overzichtelijk ingedeeld. Allereerst rangschikken wij ze naar de bovengenoemde hoofdgroepen A-D. In iedere hoofdgroep onderscheiden we de vormen naar de stand van de hoofdas en zo nodig naar die van de draaiingsas. In de hoofdgroepen, waarbij breking optreedt, is een indeling volgens de grootte van de brekende hoek noodzakelijk.

#### A. HALO'S DOOR TERUGKAATSING

Men onderscheidt de volgende gevallen:

##### *Hoofdas willekeurig*

Er komen geen bepaalde halovormen tot stand maar slechts een algemene verlichting van de hemel.

##### *Hoofdas verticaal*

- |                                   |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Terugkaatsing op prismavlakken.   | 1. Parhelische ring.        |
| Terugkaatsing op basisvlakken.    | 2. Benedenzon.              |
| Terugkaatsing op piramidevlakken. | 3. Scheve ring door de zon. |

##### *Hoofdas horizontaal*

- |                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| Terugkaatsing op prismavlakken. | 4. Zuil.             |
| Terugkaatsing op basisvlakken.  | 1. Parhelische ring. |

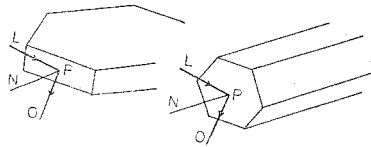
##### *Hoofdas wentelend om horizontale as*

4. Zuil.

## 1. De parhelische of bijzonnenring

De *parhelische ring* is een witte ring door de zon, evenwijdig aan de horizon. Hij kan gedeeltelijk ontwikkeld zijn, maar ook de gehele hemel omspannen. De lichtsterkte is niet groot en in de regel tegenover de lichtbron het geringst. Hij is even breed als de middellijn van de zon. De term „parhelisch” is ontleend aan het Griekse woord *helios* = zon. Komt deze ring bij de maan voor, dan heet hij *paraselenische ring* of *bijmanenring* (selene = maan). Deze ring is afgebeeld in fig. 18*ee*, verder in fig. 23, 34*c*, 46, 47, 54*f*, 56*f* en Plaat VI.

De parhelische ring ontstaat door terugkaatsing op verticale kristalvlakken. Het is het geval dat in hoofdstuk 1 (fig. 1) is behandeld en dat hiernaast in fig. 21 voor de beide in aanmerking komende kristal-



Figuur 21. Vorming van de parhelische ring.

vormen in fig. 19*a* en *b* is weergegeven. NP, de normaal op het spiegelvlak, ligt horizontaal en kan naar alle punten van de horizon gericht zijn. Er komt dus ook in alle richtingen een spiegelbeeld tot stand en dit staat overal even hoog als het hemellicht.

De parhelische ring kan alleen ontstaan indien bij een grote overmaat van kristallen de spiegelvlakken verticaal staan. Dit is mogelijk bij zwevende plaatjes, waarbij de prismavlakken verticaal staan en bij wentelende zuiltjes, waarbij de basisvlakken aan de eis voldoen. Tot op grote zonshoogte kan de parhelische ring gevormd worden. Komt hij bij hoge zon tot stand tegelijk met de kleine kring, dan lijkt hij vaak belangrijk kleiner, hoewel hij bij meting even groot of zelfs groter blijkt te zijn. Dit gezichtsbedrog is een gevolg van de schijnbare afplating van het hemelgewelf.

Terwijl het aantal halodagen in Nederland gemiddeld per jaar (1918–1953) 232 bedraagt, komen er gemiddeld 16 dagen per jaar met een parhelische (paraselenische) ring, al dan niet volledig, voor.

## 2. De benedenzon

De *benedenzon* is een ongekleurde lichtvlek onder de zon, even laag onder de horizon als de zon erboven staat. Het verschijnsel komt overeen met het zonnebeeld in een volkomen rustig watervlak. Men moet

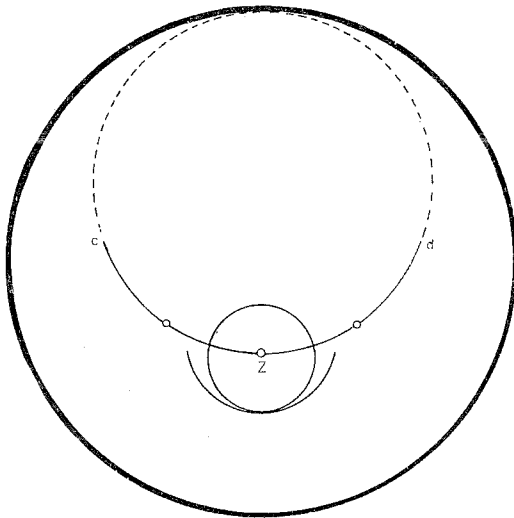
naar beneden kijken om deze halo te zien. De benedenzon wordt dan ook alleen waargenomen in het hooggebergte en in vliegtuigen. Er werden boven ons land 3 waarnemingen in een vliegtuig gedaan in 1937.

De benedenzon ontstaat door terugkaatsing op zuiver horizontale vlakken aan de bovenzijde van het kristal.

### 3. De scheve ring door de zon<sup>1)</sup>

De *scheve ring door de zon* is een witte ring, die niet evenwijdig met de horizon loopt en tegenover de zon belangrijk lager of hoger staat dan de zon.

Deze ring vereist voor zijn ontstaan een zeldzaam voorkomende kristalvorm in een rustige atmosfeer. Het verschijnsel komt daarom uiterst zelden voor. Er is in Nederland slechts één nauwkeurige waarneming bekend geworden, die van de heer T. L. Mellema te Zoutkamp op 21 mei 1904 (fig. 22). De zon Z stond  $50^\circ$  hoog. De ring was niet volledig: de uiteinden bij *c* en *d* hadden een geschatte hoogte van  $25^\circ$ .



Figuur 22. De scheve ring door de zon, 21 mei 1904. Zonshoogte  $50^\circ$ .

<sup>1)</sup> Bravais noemde deze ring de „scheve parhelische ring”. Omdat er geen bijzonnen op deze ring kunnen voorkomen, is de naam onjuist en is het beter hem te vervangen door de eenvoudiger en betere naam „scheve ring door de zon”.

Tegenover de zon zou de boog waarschijnlijk ongeveer de horizon bereikt hebben <sup>1)</sup>.

Deze scheve ring door de zon ontstaat door terugkaatsing op piramidevlakken van kristallen met verticale hoofdas. De spiegelvlakken hellen ten opzichte van de horizon en het gevolg is een hellende lichtkring. De helling wordt bepaald door de helling van de piramidevlakken. Wij noemen deze helling, d.i. de hoek die het vlak met de hoofdas maakt,  $a$ . Staat de zon lager dan  $(90^\circ - a)$ , dan leert de theorie van Bravais, dat er twee scheve ringen door de zon kunnen ontstaan in de vorm van een 8 met de zon op het snijpunt. Het hoogste en het laagste punt van deze dubbele ring liggen op een afstand  $2a$  boven en beneden het punt, dat tegenover de zon en even hoog als deze gelegen is. Stijgt de zon hoger, dan wordt de bovenste lus kleiner en verdwijnt, als de zon de grenshoogte  $(90^\circ - a)$  bereikt. Bij nog hogere zon blijft alleen de onderste scheve ring over, maar deze gaat dan niet meer door de zon. De twee bogen kunnen alleen tegelijk gevormd worden, als aan beide uiteinden van het kristal piramides voorkomen.

Uit de waarneming te Zoutkamp (fig. 22) volgt een hoek van het piramidevlak met de vertikaal van  $25^\circ$ . Volgens de regels van de kristallografie (blz. 71) is een hoek van  $25^\circ 14'$  mogelijk.

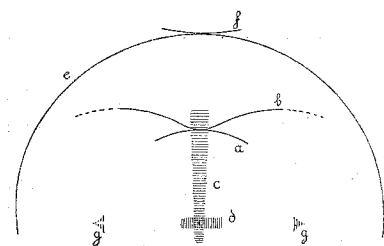
#### 4. De zuil

De *zuil* is een witte lichtband boven en onder het hemellicht, gewoonlijk even breed, maar ook wel in breedte toe- of afnemend. Boven de lichtbron is een lengte tot  $30^\circ$  toe waargenomen, eronder tot meer dan  $15^\circ$ . Voorbeelden van de zuil zijn in fig. 23 *a* en *b* afgebeeld <sup>2)</sup> en op Plaat V. Men kan de vorming vergelijken met die van de lichtbaan op een golvend wateroppervlak. Schijnt de zon op golvend water, dan wordt het licht door de golven teruggekaatst. IJskristallen kunnen het zonlicht op overeenkomstige wijze spiegelen als de watergolven en dan ontstaat er boven en beneden de zon een gelijksoortige lichtbaan aan de hemel, die „zuil” genoemd wordt.

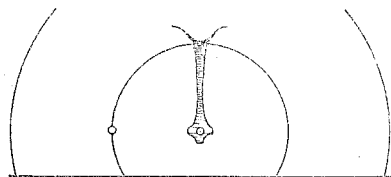
De volgende beschouwingen berusten op de theorie van Stuchtey. Wij gaan uit van de parhelische ring. Deze ontstaat door terugkaatsing op

1) Een tweede waarneming te Westschouwen op 16 januari 1938 bij de maan is onvoldoende beschreven, omdat een nauwkeurige opgave van de tijd en de stand van de boog ontbreekt.

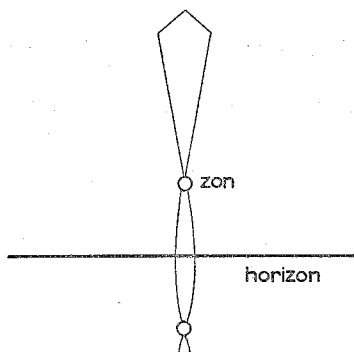
2) In fig. 23 is de horizon (in afwijking van fig. 18, blz. 37) als een rechte lijn voorgesteld. Deze werkwijze, die zonder meer duidelijk is, is voor weinig uitgebreide halo's geschikt.



a. 29 december 1914 ( $\odot h 4,0^\circ$ ).



b. 26 mei 1934 ( $\odot h, 18,4^\circ$ ).



c. theoretisch;  $\odot h = 10^\circ$ ;  $h:r = 0,15$ .

Figuur 23. De zuil.

verticale kristalvlakken in alle mogelijke richtingen, of, zoals wij het ook kunnen uitdrukken, in één kristalvlak, dat om een vertikale as in dit vlak wentelt. Er ontstaat dan een cirkelvormige lichtkring door de zon loodrecht op de draaiingsas, of wel evenwijdig aan de horizon. Leggen wij nu de draaiingsas h o r i z o n t a a l, dan moet er bij spiegeling van het zonlicht een v e r t i c a l e kring door de zon ontstaan. Voor iedere mogelijke richting van de draaiingsas in het horizontale vlak komt een verticale kring door de zon tot stand en het gevolg is een algehele verlichting van de hemel. Al deze cirkels gaan niet alleen door de zon, maar, omdat hun middelpunten op de horizon liggen, ook door de benedenzon en het gevolg is een sterke lichtophoping in de omgeving van de verticaal door de zon, in het bijzonder onder de zon. Boven de zon is de lichtspreiding echter nog tamelijk groot en het lijkt niet goed mogelijk, dat op deze wijze een scherp begrensde zuil zou ontstaan. De theorie van Stuchtey is daarom zeker niet voldoende.

De zuil kan ontstaan zowel in naaldjes als in plaatjes: in naaldjes, wentelende om de horizontale hoofdas door spiegeling op de prismavlakken; in plaatjes, wentelende om de langste en horizontaal liggende diagonaal van het basisvlak, door spiegeling op de basisvlakken. Bij een volle wenteling van  $360^\circ$  spiegelen in het eerste geval 6 prismavlakken, in het tweede geval twee basisvlakken en twee prismavlakken het zonlicht. De omstandigheden zijn voor de plaatjes gunstiger dan



voor de naaldjes. Bovendien bieden de plaatjes een andere mogelijkheid tot spiegeling, waardoor de begrenzing van de zuil veel scherper wordt. Wanneer de lichtstraal een kleine helling maakt met het reflecterende basisvlak, zal er ook licht door een naar de zon toegekeerd prismavlak binnendringen, op het basisvlak inwendig totaal worden teruggekaatst om vervolgens door het tegenoverliggende prismavlak uit te treden. Het is nu dit licht, dat op bijzondere wijze bijdraagt tot de vorming van de zuil.

De intensiteit van het totaal teruggekaatste licht hangt af van de hoogte  $h$  van het prismavlak en de ribbe  $r$  van het basisvlak. Fig. 23c geeft de theoretische vorm van de zuil bij een zonshoogte van  $10^\circ$  en een verhouding  $h : r = 0,15$ . Het resultaat is een extra-lichtophoping in een smalle lichtband, die veel scherper begrensd is dan bij uitwendige terugkaatsingen het geval is. Typerend is het breder worden naar boven toe en zó wordt de zuil inderdaad veel gezien.

De zuil wordt vrij algemeen waargenomen (gemiddeld op 33 dagen per jaar).

#### Het kruis

De zuil kan ook tegelijk met de parhelische ring voorkomen. Dan ontstaat het *kruis* door zon of maan (zie de figuren 23a en b en Plaat III).

#### De dubbele zon

De *dubbele zon* is op te vatten als een niet scherp begrensde plek van maximale lichtsterkte in de zuil op een plaats waar, door het voorbijtrekken van een veel dichtere Ci-wolk, een opeenhoping van ijskristallen het zonlicht intensiever terugkaatst dan elders het geval is. De dubbele zon wordt in de regel op korte afstand boven of onder de laag staande zon gezien en is een vrij algemeen verschijnsel. Men heeft dit verschijnsel niet te melden.

#### B. HALO'S DOOR BREKING

De halo's welke door breking ontstaan, worden ingedeeld naar de brekende hoek en de stand van het kristal als volgt:

Brekende hoek	60°	90°
<i>Hoofdas willekeurig</i>	5. kring van 22°	12. kring van 46°
<i>Hoofdas vertikaal;</i>		
brekende ribbe verticaal	6. bijzonnen 22°	13. circumzenitale boog
brekende ribbe horizontaal		14. circumhorizontale boog

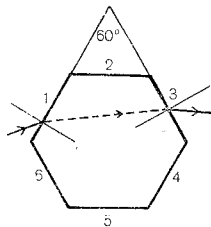
	60°	90°
<i>Hoofdas horizontaal</i>		
brekende ribbe verticaal	.....	17. bijzonnen 46°
brekende ribbe wentelend (naaldjes)	7. bovenraakboog 8. benedenraakboog 9. omhullende	15. benedenzijdigse raakbogen 16. bovenzijdigse raakbogen
brekende ribbe horizontaal (zwevende naaldjes)	10. boog van Parry	
<i>Hoofdas wentelend</i>		
brekende ribbe wentelend (plaatjes)	11. bogen van Lowitz	18. bovenraakboog en 19. benedenraakboog 46°

### Ander e brekende hoeken

<i>Hoofdas willekeurig</i>	20—29. kringen met ongewone straal
<i>Hoofdas gericht</i>	30—31. raakbogen aan ongewone kringen

### Brekende hoek 60°

Een brekende hoek van 60° komt in het ijskristal voor tussen twee prismavlakken die niet bij elkaar aansluiten maar door een derde vlak van elkaar gescheiden zijn. Nummert men de prismavlakken van 1 tot 6, dan treft men een brekende hoek van 60° aan tussen de vlakken 1 en 3, 2 en 4, enz. (fig. 24). Het minimum van deviatie is voor ijs met een brekende hoek van 60° vrijwel 22°. Het kleinste minimum wordt bereikt door het rood, nl. 21°34'; voor de andere kleuren wordt het geleidelijk groter: voor geel 21°50', voor het violet 22°22'. De grootste lichtsterkte ligt in het geel. Men stelt daarom het minimum van deviatie op dat van het geel, dus 21,8° of afgerond 22°.



Figuur 24. Breking van het licht in een hoek van 60°.

### 5. De kleine kring of de kring van 22°

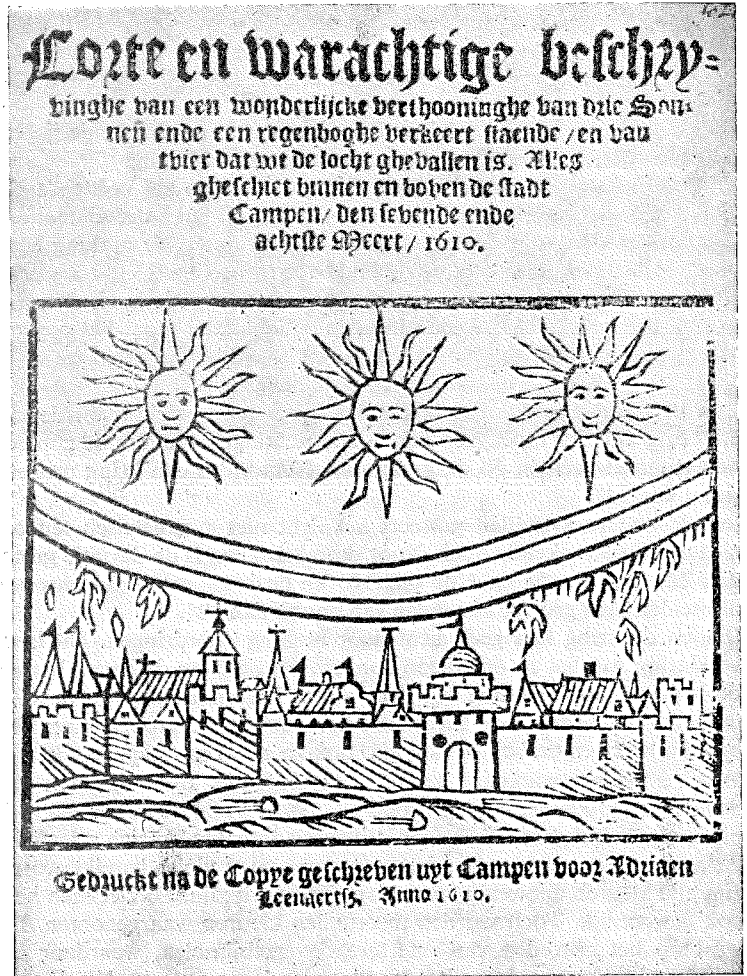
De *kleine kring* is een cirkelvormige kring om de zon met een straal van 22°. Hij kan al dan niet volledig ontwikkeld zijn. Hij is als regel wit met een rode of roodachtige binnenrand, maar ook andere kleuren



Plaat II. Halo van 17 februari 1939. Foto S. Dijkman.

hierop bij de bespreking van de buiging bij de halovorming terug (blz. 77).

De kleine kring is een zeer algemene halo. In het 36-jarige tijdvak 1918–1953 telde men in Nederland gemiddeld 232 halodagen per jaar. Op 215 dagen per jaar kwam de kleine kring voor.



Figuur 25. Halo te Kampen, 8 maart 1610.

## 6. De bijzonnen

De *bijzonnen* zijn heldere lichtvlekken op gelijke hoogte als de zon, op of buiten de kleine kring gelegen. Zij komen aan weerszijden van de zon tot stand en behoeven niet beide tegelijk aanwezig te zijn. Vaak zijn zij duidelijk gekleurd. Dikwijls zijn zij, aan de zijde van de zon afgericht, met een witte *staart* verlengd. Men vindt bijzonnen afgebeeld in fig. 18, 22, 23, 25, 33, 34, 41, 47, 54 en 56 en op de platen II, III en IV.

De oudste mij bekende beschrijving van een halo in Nederland (8 maart 1610) bevindt zich in het gemeente-archief te Kampen. De bijbehorende tekening is in fig. 25 gereproduceerd. Hadden we alleen met de beschrijving te maken „drie Sonnen ende een regenboghe verkeert staende”, dan zouden we er de beide bijzonnen en de circumzenitale boog (blz. 63), die vaak als een regenboog beschouwd wordt, in herkennen. De wonderlijke boog eronder doet echter aan de benedenraakboog denken. De tekenaar geeft vlammen onder de boog aan, die wel bedoeld zijn als „tvier dat wt de locht ghevalen is”: een bliksembol op 7 maart. Weliswaar een dag te vroeg! Waarschijnlijk heeft de tekenaar zich enige vrijheden veroorloofd.

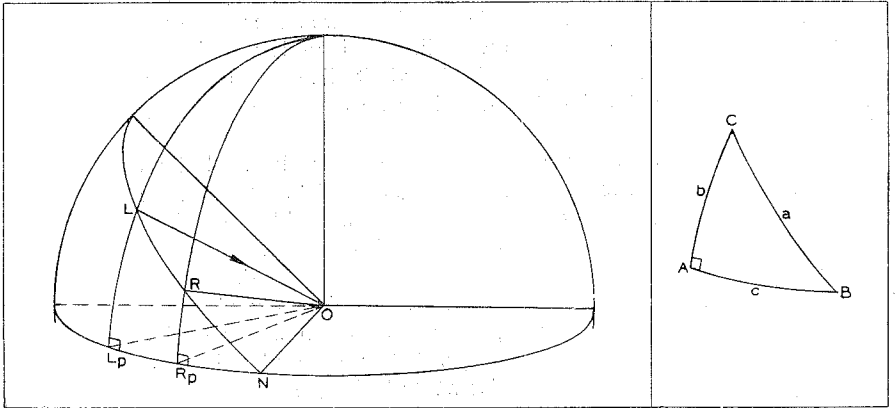
De bijzon wordt gevormd door het licht, dat in het minimum van deviatie doorkomt bij brekende hoeken van  $60^\circ$  in kristallen met verticale hoofdas (in het algemeen dus in zwevende plaatjes). Voor de verklaring moet iets dieper op de lichttheorie worden ingegaan dan in hoofdstuk 1 is geschied (blz. 13). De lichtbreking werd daar behandeld zoals deze plaats heeft in een vlak, loodrecht op de brekende ribbe. Bij zwevende plaatjes gebeurt dit alléén, wanneer de zon in de horizon staat, dus wanneer het licht horizontaal invalt. Alleen in dit geval kunnen de lichtstralen symmetrisch ten opzichte van de brekende hoek door het kristal passeren. Dit geval is in fig. 27a voorgesteld. Hierbij is het minimum van deviatie  $m$  (de hoek tussen de invallende straal L en de uitredende straal B)  $22^\circ$ . Uit de symmetrie volgt, dat dit minimum voor de helft bij de breking op het eerste vlak en voor de helft bij die op het tweede vlak tot stand komt. Deze deviaties  $d$  zijn dus ieder  $11^\circ$ . Uit de figuur volgt verder, dat de brekingshoek  $r = 30^\circ$  is, en dus wordt de invalshoek  $i = 30 + 11 = 41^\circ$ . Dit volgt ook uit de wet van Snellius:

$$\sin i : \sin r = n$$

waarin  $n$ , de brekingsindex, voor ijs op 1,31 is te stellen.

Staat de zon boven de horizon, dan liggen de zonnestrallen niet meer in het horizontale normaalvlak, maar hellen ten opzichte ervan. De

hellingshoek is gelijk aan de zonshoogte. Wat er nu gebeurt, zullen wij duidelijk maken met behulp van fig. 26. Wij nemen als vlak van



Figuur 26. De breking van schuin invallend licht.

tekening aan het verticaal staand kristalvlak, waarop de hellende zonnestralen op het kristal invallen. De normaal in een punt O van dit vlak loopt dan horizontaal en wordt voorgesteld door de lijn ON, die men zich dus loodrecht op het tekenvlak moet denken. In het punt O bereikt een zonnestraal LO het vlak. Deze lichtstraal wordt gebroken en dringt dus achter het vlak in het kristal binnen. Wij verlengen hem naar de voorzijde en hij wordt dan voorgesteld door de lijn RO. De breking heeft plaats in het invalsvlak; dit is het vlak door de invallende lichtstraal en de normaal. RO ligt in dit vlak, als in de figuur is aangegeven.

De invalshoek  $i$  is de hoek LON of wel de boog LN; de brekingshoek  $r$  is de hoek RON of wel de boog RN. Voor deze hoeken geldt de wet van Snellius.

Wij projecteren nu LO en RO op het horizontale vlak. De projecties zijn  $L_pO$  en  $R_pO$ . De hoek  $L_pOL_p$  of de boog  $LL_p$  stelt de hoogte  $h$  van de zon boven de horizon voor of ook de helling van de invallende lichtstraal. De hoek  $R_pOR_p$  of de boog  $RR_p$  stelt de helling  $k$  van de gebroken lichtstraal voor. Verder zijn de hoeken  $L_pON$  en  $R_pON$  of wel de bogen  $L_pN$  en  $R_pN$  de projecties van  $i$  en  $r$  op het horizontale vlak. Wij noemen ze  $i_p$  en  $r_p$ . De deviatie  $d_p = i_p - r_p =$  boog  $L_pR_p$ . Deze hoek is het azimutverschil tussen LO en RO.

In de twee rechthoekige boldriehoeken  $LNL_p$  en  $RNR_p$ , die de hoek  $N$  gemeen hebben, zullen wij twee vergelijkingen van de boldriehoeksmeting toepassen.

1e Vergelijking (de sinusregel)  $\sin b : \sin a = \sin B$  (voor de gebruikte letters zie het bijfiguurtje bij fig. 26).

toegepast op  $\triangle LNL_p$   $\sin N = \sin h : \sin i$

„ op  $\triangle RNR_p$   $\sin N = \sin k : \sin r$

$$\text{dus } \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin h}{\sin k} = n.$$

Hieruit volgt: Voor de hellingshoeken van invallende en gebroken straal geldt de wet van Snellius ongewijzigd.

2e Vergelijking  $\text{tg } B = \text{tg } b : \sin c$

toegepast op  $\triangle LNL_p$   $\text{tg } N = \text{tg } h : \sin i_p$

„ op  $\triangle RNR_p$   $\text{tg } N = \text{tg } k : \sin r_p$ .

$$\text{dus } \frac{\sin i_p}{\sin r_p} = \frac{\text{tg } h}{\text{tg } k} = \frac{\sin h}{\sin k} \times \frac{\cos k}{\cos h} = n \times \frac{\cos k}{\cos h}.$$

$$\frac{\sin i_p}{\sin r_p} = n' \text{ waarbij } n' = n \frac{\cos k}{\cos h}.$$

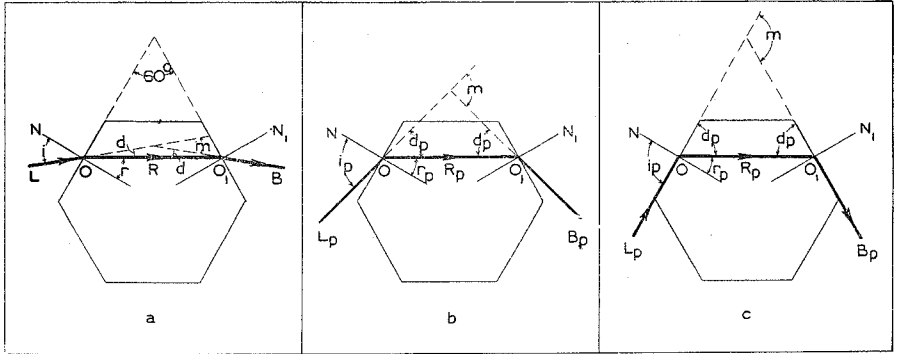
Hieruit volgt: voor de geprojecteerde stralen geldt de wet van Snellius, maar met vergroete brekingsindex  $n'$ .

De gebroken straal treedt door het tweede verticale kristalvlak uit. De hellingshoek  $k$  blijft ongewijzigd, en dan moet de hellingshoek van de uittredende straal weer dezelfde waarde krijgen als die van de invallende. Wij zien dus een lichtpunt op gelijke hoogte als de zon. Deze uitkomst geldt voor alle zonnestralen, die door het ijskristal gebroken worden en ook de bijzon moet dus even hoog als de zon staan.

Omdat de beide hoeken  $h$  en  $k$  bij het uittreden gelijk zijn aan die bij de inval, moet ook volgens de tweede vergelijking  $n'$  even groot blijven. Dit betekent, dat de geprojecteerde stralen bij de doorgang door het kristal dezelfde eigenschappen hebben als die bij normale inval; alleen moet de brekingsindex  $n$  vervangen worden door de grotere  $n'$ . Deze  $n'$  neemt toe naarmate de zon stijgt. (Zie de noot op blz. 54).

Ook bij de geprojecteerde lichtstralen treedt een minimum van deviatie op. Dit minimum bepaalt de plaats van de bijzon. Omdat  $n'$  toeneemt met stijgende zon, neemt ook het minimum toe en hieruit volgt, dat de bijzon zich steeds verder van de kring van  $22^\circ$  moet verwijderen. De juiste plaats van de bijzon kan worden uitgerekend. Hoe de ge-

projecteerde stralen bij het minimum het kristal doorlopen, blijkt uit fig. 27a, b en c. Steeds loopt de inwendige geprojecteerde straal even-



Figuur 27. De breking van het schuin invallend zonlicht in het ijskristal.

wijdig aan het tussengelegen prismavlak en steeds is de brekingshoek bij het intreden  $r_p = 30^\circ$ . Maar de breking is sterker en de deviatie  $d_p$  dus groter dan  $11^\circ$ , naarmate de zon stijgt.

Het geval van fig. 27b is getekend voor  $d_p = 45^\circ$ . Het minimum van deviatie  $m$  is dan  $2d_p = 90^\circ$ , en de invalshoek  $i_1 = 30 + 45 = 75^\circ$ .  $n'$  heeft de waarde  $\sin 75 : \sin 30 = 1,93$ .

Om de zonshoogte te berekenen, passen we de twee boven afgeleide vergelijkingen toe:

$$n' = n \frac{\cos k}{\cos h} \text{ en } \frac{\sin h}{\sin k} = n;$$

Na eliminatie van  $k$  vinden wij  $\sin h = \sqrt{\frac{n'^2 - n^2}{n'^2 - 1}}$ .<sup>1)</sup>

Het minimum van de deviatie van  $90^\circ$  komt tot stand bij de zonshoogte  $59^\circ 13'$ . Wij wijzen er op, dat bij deze zonshoogte de bijzonde indruk kan maken van die van  $90^\circ$ !

Het minimum van deviatie bereikt een uiterste waarde. De invalshoek  $i_p$  kan zoals in fig. 27c wordt voorgesteld, niet groter worden dan  $90^\circ$ .

1) Hiervoor kan ook geschreven worden  $\sin^2 h = 1 - \frac{n^2 - 1}{n'^2 - 1}$ .

Hieruit volgt de regel, dat bij stijgende  $h$  ook  $n'$  moet toenemen.



Het licht valt dan rakelings in en het minimum wordt gevormd door het licht, dat (wegens de symmetrie) rakelings uittreedt. Dit is het grensgeval.

Nog steeds is, blijkens fig. 27c,  $r_p = 30^\circ$ ; de deviatie  $d_p$  bij de breking op het eerste vlak is  $60^\circ$ , het minimum van deviatie dus  $2 \times 60^\circ = 120^\circ$ . Het azimuthverschil tussen zon en bijzon is dus  $120^\circ$ . In dit grensgeval kan de bijzon de indruk maken de bijtegenzon van  $60^\circ$  te zijn.

Verder vinden we uit  $i_p = 90^\circ$  en  $r_p = 30^\circ$  de brekingsindex  $n'$ :

$$n' = \frac{\sin 90}{\sin 30} = 2.$$

De zonshoogte bij het grensgeval is  $h = 60^\circ 45'$ . Dit is dus de uiterste hoogte, waarbij zich nog een bijzon bij de kleine kring kan vormen. De bijzon is tot dicht bij deze grenshoogte waargenomen (nl. bij  $53^\circ$ ). De volgende tabel geeft de minima van deviatie van het gele licht bij verschillende zonshoogten:

Zonshoogten	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$
min. van dev.	21,8	22,2	23,1	24,8	27,6	32,4	44,6

Op deze afstanden van de zon vormt zich dus de bijzon.

#### De vorm van het ijskristal

De bijzon komt tot stand in zwevende plaatjes met verticale brekende ribbe. Bij schuine doorval van het zonlicht wordt dan echter bij hoge zon een zo grote lengte van de brekende ribbe vereist, dat men niet meer van plaatjes kan spreken en allermint van zwevende plaatjes. Om deze moeilijkheid te ontgaan, heeft men zijn toevlucht genomen tot „valschermkristallen”: een plaatje in horizontale stand, waaronder centraal een naaldje is uitgegroeid. Gewoonlijk is het naaldje van onderen nog weer afgesloten door een klein plaatje. De vereiste breking heeft dus plaats in de „steel”.

Deze verklaring is gebrekkig, omdat het bovenste plaatje de lichtdoorgang door de steel belemmert, terwijl ook het onderste plaatje een deel van het effect wegneemt. Ook heeft men de verklaring gezocht in zuiltjes, die eenzijdig een holle ruimte bevatten. Deze zouden dan verticaal gaan staan met de holle ruimte boven. Dit is echter niet het geval, omdat zo'n eenzijdig verzwaard kristal een schuine stand zal innemen. Bovendien belet de holle ruimte de vereiste lichtdoorgang aanzienlijk. Evenmin kan dit aan een richtingseffect van de wind

worden toegeschreven. Dit zou denkbaar zijn bij eenparige, rechtlijnige windbeweging, maar de wind is steeds te turbulent om het vereiste regelmatige richtingseffect op te leveren.

Het is evenwel mogelijk een eenvoudige oplossing te geven. Immers het licht, dat bij hoogstaande zon door een verticaal prismavlak binnendringt, wordt op het onderste horizontale basisvlak totaal gereflecteerd. Wordt het vervolgens op het bovenste basisvlak nog eens totaal teruggekaatst, dan treedt het uit, alsof het recht doorgelopen was. Deze totale reflecties mogen zich enige malen herhalen, mits de laatste plaats heeft tegen het bovenste basisvlak. Op deze wijze kan met zeer dunne plaatjes worden volstaan. Zelfs bij de hoogst mogelijke zonnestand van ruim  $60^\circ$  is nog de terugkaatsing op het basisvlak totaal. Wij krijgen dus met een dergelijke werking te maken als bij de zuil mogelijk is gebleken. De staart van de bijzon wordt gevormd òf door gebroken licht, dat niet aan de eisen voor het minimum van deviatie voldoet, òf is een stuk van de parhelische ring.

De bijzon (bijmaan) wordt gemiddeld op 78 dagen per jaar gezien.

7. De bovenraakboog aan de kleine kring

8. De benedenraakboog aan de kleine kring

9. De omhullende halo

De drie hierboven opgesomde halo's zijn zeer nauw verwante vormen en worden daarom tegelijk behandeld.

De bovenraakboog raakt aan de kleine kring in het bovenste punt, de benedenraakboog in het onderste. Vaak komt alleen een versterkt lichteffect in de raakpunten tot stand. Beide bogen breiden zich buiten de kring van  $22^\circ$  uit en hun gedaante verandert met de hoogte van de zon. Zij zijn in hun volledig ontwikkelde vorm symmetrisch ten opzichte van de verticaal door de zon.

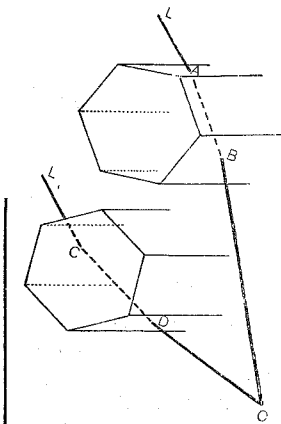
De beide takken van de *bovenraakboog* breiden zich bij laagstaande zon naar boven uit en vormen een scherpe hoek. Bij stijgende zon wordt deze hoek groter en tenslotte stomp. Daarbij buigen de uiteinden der beide takken zich naar beneden en naderen geleidelijk tot de kring. Bij een zonshoogte van  $38^\circ$  reiken de omgebogen uiteinden tot de hoogte van de zon.

De *benedenraakboog* ontwikkelt zich op bijzondere wijze bij laagstaande zon. (Als de zon lager staat dan  $22^\circ$  zijn waarnemingen alleen in het hooggebergte of in vliegtuigen mogelijk.) Aanvankelijk vormen de beide takken een scherpe hoek, maar de vorm gaat tussen  $10^\circ$  en  $20^\circ$  zonshoogte over in een lus. Van  $25^\circ$  af is de vormverandering in hoofdzaak gelijk aan die van de bovenraakboog. Beide takken breiden

zich echter naar boven uit. Zij naderen eveneens tot de kring. Bij een zonshoogte van  $42^\circ$  bereiken de uiteinden van boven- en benedenraakboog elkaar. Zij vormen dan tezamen de omhullende halo.

De *omhullende halo*, ook *omgeschrevene halo* genoemd, is een ring van enigszins elliptische vorm die de kleine kring omhult en in het bovenste en het onderste punt eraan raakt. De omhullende is als de voortzetting van de raakbogen te beschouwen bij hoge zonnestanden. Bij stijgende zon sluit de omhullende steeds nauwer bij de kring van  $22^\circ$  aan. Bij zonshoogten boven  $70^\circ$  wordt het verschil tussen beide kleiner dan  $1^\circ$ . Voorbeelden van deze halovormen vindt men in fig. 9, 18b, 23, 25 (?), 33, 34, 41, 46, 54, 56, 60, Plaat II en III. Fig. 9 (blz. 21) geeft de karakteristieke appelvorm van de omhullende bij bepaalde zonshoogte. Bij de waarneming van de raakbogen lette men op de volgende punten:

1. bij laagstaande zon, de V-vorm van de bovenraakboog;
2. de ontwikkeling van de afhangende takken en hun uitbreiding tot zonshoogte (bij  $38^\circ$ );
3. de ontwikkeling van de benedenraakboog als de zon hoog genoeg staat (dus wel  $25-30^\circ$ );
4. de aaneensluiting van de beide raakbogen bij een zonshoogte van  $42^\circ$ , het begin van de omhullende;
5. het nauwer worden van de omhullende bij stijgende zon. Heel vaak zal men de indruk krijgen, dat deze halo cirkelvormig is in plaats van min of meer elliptisch, alweer het gevolg van de schijnbare afplatting;
6. men lette ook op de bijzonnen! Deze verwijderen zich bij stijgende zon van de kring, terwijl de omhullende ertoe nadert. De ontmoeting heeft plaats bij een zonshoogte van  $43^\circ 13'$ .

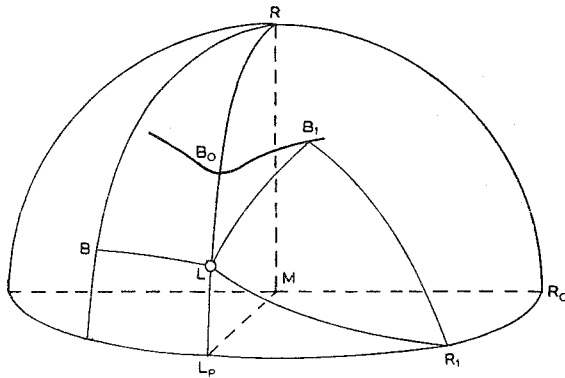


Figuur 28. Vorming van de boven- en de benedenraakboog.

De beide raakbogen en de omhullende halo komen tot stand in kristallen met horizontale hoofdas en bij een brekende hoek van  $60^\circ$ . Hiervoor komen alleen wentelende naaldjes in aanmerking. De lichtgang is voorgesteld in fig. 28 zowel voor de boven- als voor de benedenraakboog. De gang van de lichtstralen is voor de bovenraakboog L A B O en voor de benedenraakboog L C D O.

Voor de verklaring gaan we uit van de „parhelische driehoek” van Bravais, die gevormd wordt door drie grote cirkels aan de hemel met hoekpunten: de zon (L), de bijzon (B) en het eindpunt van de brekende ribbe, verlengd tot aan de hemelbol (R), voor de bijzon dus het zenit (fig. 29, boldriehoek LBR). Bekend zijn de drie zijden,  $LR = BR = 90^\circ - \odot h$ , BL is de afstand, afhankelijk van de zonshoogte, die bij de bespreking van de bijzon berekend werd. De hoeken van deze boldriehoek kunnen berekend worden.

Gaan wij nu over naar de raakbogen. De ribbe ligt nu horizontaal, R dus willekeurig op de horizon ( $R_1$ ). De parhelische driehoek verandert alleen in stand:  $LB_1R_1$  in fig. 29. Staat de zon in L en wordt de ligging van  $R_1$  bepaald door de boog  $L_pR_1$ , dan is  $LR_1$  te berekenen en hieruit volgt dan ook boog  $LB_1$ . Ook de hoek  $R_1LB_1$  kan berekend



Figuur 29.  
De parhelische driehoek van Bravais.

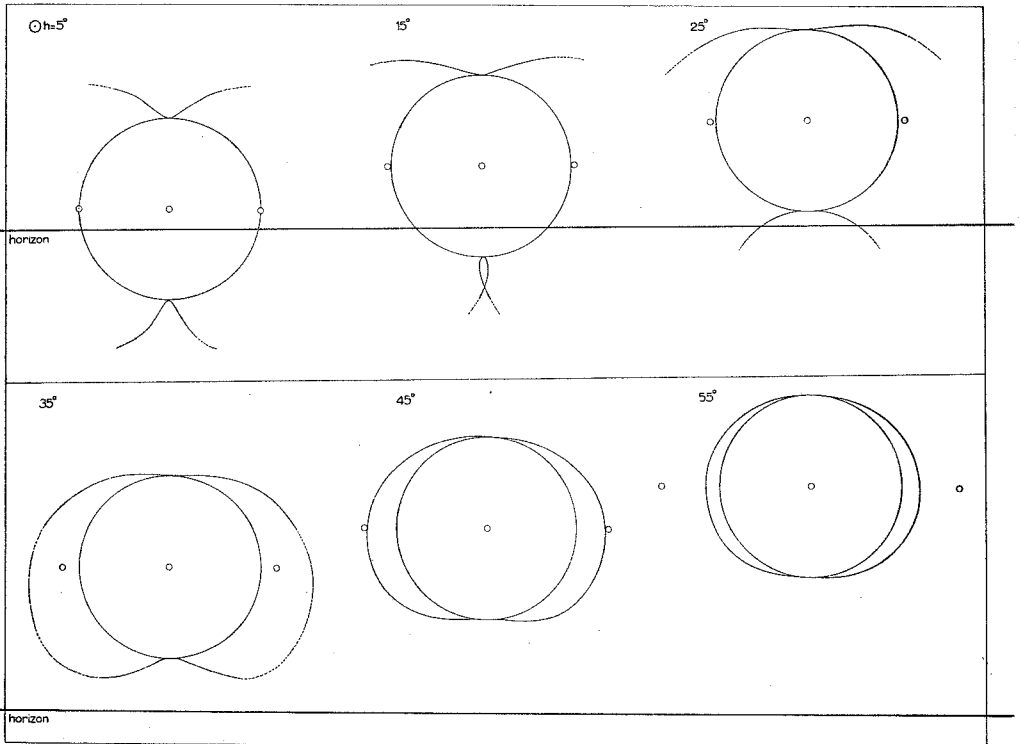
worden en dan is de ligging van  $B_1$  in poolcoördinaten ten opzichte van de zon bekend. Ligt R in de stand  $R_0$  ( $MR_0$  loodrecht op vlak RML), dan heeft de parhelische driehoek de vorm, die gelijk is aan die voor de bijzon met de zon in de horizon. Dan ligt dus  $B_0$  op  $22^\circ$  boven de zon L (het tweede beeldpunt op  $22^\circ$  onder de zon).

Men volvoert de berekening voor verschillende zonshoogten (b.v.  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  enz.) en bij iedere zonnestand voor verschillende richtingen van  $R_1$  (b.v.  $R_1R_0 = 0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  enz.) en vindt zo een aantal punten van de raakboog  $B_0B_1$ . Het uiteinde van de boog wordt bereikt, als op het tweede prismavlak totale terugkaatsing optreedt.

Christiaan Huygens was de eerste, die de berekeningen heeft uitgevoerd. Hij verkreeg uitkomsten, die goed met de waarnemingen overeenkomen, hoewel hij uitging van volgens huidige opvattingen onbestaanbare ijsdeeltjes: verticaal staande ijscilindertjes met een laagje water er omheen van zeer bepaalde dikte.

Fig. 30 geeft de vormen van de raakbogen bij enkele zonshoogten. Ook de plaats van de bijzonnen is aangegeven. In deze figuur is de horizon als een zware rechte lijn afgebeeld.

De raakbogen en de omhullende worden gemiddeld op 64 dagen per jaar waargenomen.

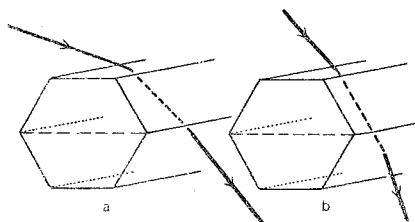


Figuur 30. De raakbogen en de omhullende halo.

## 10. De boog van Parry

De *boog van Parry* is een lichtzwakke, zwak gebogen halo boven de zon buiten de kleine kring. Gewoonlijk wordt hij gezien tussen de oplopende takken van de bovenraakboog.

De boog van Parry komt tot stand wanneer de zuiltjes in volkomen zweefstand verkeren zonder wentelingen. Het licht valt steeds in op het bovenste vlak, dat in dit geval onveranderlijk horizontaal ligt en treedt uit door het naar de waarnemer gekeerde onderste schuine prismavlak. De loop der lichtstralen is in fig. 31 voor twee gevallen getekend. De gestreepte diagonaal in het voorvlak blijft onveranderlijk



Figuur 31. Vorming van de boog van Parry.

horizontaal. Wij denken ons de zon in het zuiden en vatten om te beginnen alle kristallen in het oog waarvan de hoofdas oost-west ligt. Het kristal is volkomen in rust en het lichteffect in de zonneverticaal is nu alleen afhankelijk van de zonshoogte. Bij één bepaalde zonshoogte,  $49^\circ$ , gaan de lichtstralen symmetrisch ten opzichte van de brekende hoek door. In dit geval is de deviatie gelijk aan het minimum en raakt de boog dus aan de kring van  $22^\circ$ ; bij alle andere zonshoogten is dit niet het geval en ligt hij er buiten <sup>1)</sup>. Voor enkele andere zonshoogten vindt men de volgende afstanden:

zonshoogte	$20^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$	$45^\circ$	$55^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$
boog van Parry	28,7	24,8	23,3	21,9	22,2	23,1	27,7

<sup>1)</sup> Deze hoek van  $49^\circ$  kan men als volgt afleiden. Het geval van het minimum van deviatie is in fig. 31b voorgesteld. De lichtstraal passeert symmetrisch ten opzichte van de brekende hoek. Hieruit volgt: 1. dat de lichtstraal, die binnen het kristal loopt, een hoek van  $60^\circ$  met de horizon maakt; 2. dat de afwijking, die de invallende straal ondervindt, gelijk is aan die van de uittreedende. Samen zijn ze  $22^\circ$ ; ieder dus  $11^\circ$ . Uit de figuur volgt dan dat de zonshoogte moet zijn  $60^\circ - 11^\circ$  (de halve straal van de kring) =  $49^\circ$ .

De boog is alleen gescheiden van de kring te zien voor zonshoogten beneden  $35^\circ$  en boven  $60^\circ$ . Op enige afstand van de kring wordt hij echter al gauw te lichtzwak. De breking van het licht is in fig. 31a getekend voor een zonshoogte van  $20^\circ$ , in fig. 31b voor  $49^\circ$ .

Voor die kristallen waarvan de hoofdas niet oost-west ligt, heeft weer scheve doorgang van het licht plaats, waarbij het minimum van deviatie zich op groter afstand vormt dan in de zonneverticaal het geval is. Er komt dus een boog tot stand die zich aan weerszijden van de zonneverticaal van de kring verwijderd.

De boog van Parry vereist een bijzonder rustige atmosfeer en is daarom een zeer zeldzame verschijning aan de hemel. In de 36 jaren van 1918–1953 werd deze boog 21 maal waargenomen.

#### *De benedenboog van Parry*

Er is ook onder de zon een boog mogelijk, die op overeenkomstige wijze tot stand komt als de hierboven besprokenen.

Voor de loop der lichtstralen kan de volgende algemene regel worden toegepast: Keer de figuur voor de bovenboog (hier dus fig. 31) ondersteboven, keer de richting van de lichtstralen om en gij hebt de loop der lichtstralen voor de benedenboog voor U. Deze regel geldt ook voor de raakbogen van fig. 28.

Bij de benedenboog van Parry treedt het licht in op het bovenste schuine van de waarnemer afgekeerde prismavlak en treedt het uit door het onderste horizontale vlak. Raking van deze boog met de kring van  $22^\circ$  heeft plaats bij een zonshoogte van  $71^\circ$  <sup>1)</sup>.

Deze boog is in Nederland nooit waargenomen.

#### 11. De bogen van Lowitz of de zijdelingse raakbogen aan de kleine kring

De *bogen van Lowitz* zijn lichtbogen die door de bijzonnen schuin naar beneden lopen, zodanig, dat zij in hun volle ontwikkeling de kleine kring beneden de bijzon raken. Zij komen slechts zelden geheel tot stand; vaak openbaren zij zich alleen door de schuine stand van de kleuren der bijzon.

De bogen van Lowitz zijn afgebeeld in fig. 18d<sub>1</sub> en d<sub>2</sub>, voorts in fig. 34g. Zij komen tot stand, wanneer de plaatjes, die de bijzonnen veroorzaken, wentelen.

<sup>1)</sup> Deze zonshoogte is  $60^\circ +$  halve straal van de kring  $= 71^\circ$  (zie noot op blz. 60).

Noemen wij de zeshoekige doorsnede van het kristal ABCDEF, dan komt b.v. de bijzon tot stand bij het passeren van het licht door de prismavlakken AB en CD, als de inwendige straal evenwijdig aan BC loopt. Dit geldt voor alle zonshoogten, als wij met de op het horizontale vlak geprojecteerde stralen werken (fig. 27). Wentelt het kristal, dan zijn er drie mogelijkheden ten opzichte van de richting van de inwendige lichtstraal:

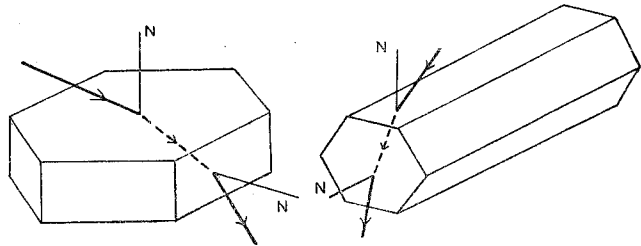
1. de wenteling geschiedt om de diagonaal AD evenwijdig aan deze lichtstraal; de prismavlakken AB en CD raken dan aan gelijkvormige kegelvlakken;
2. de wenteling geschiedt om BE; CD raakt dan aan een cilindervlak;
3. de wenteling geschiedt om CF en dan raakt AB aan een cilindervlak.

Volgens Hastings, van wie deze beschouwing afkomstig is, kan alleen in het tweede geval de boog van Lowitz ontstaan.

De bogen van Lowitz zijn een zeldzaam voorkomende halovorm; op 4 dagen per jaar worden zij gemiddeld opgemerkt.

#### *Brekende hoek 90°*

Een brekende hoek van 90° komt in het ijskristal voor tussen een basis- en een prismavlak (fig. 32).



32. Breking van het licht in een brekende hoek van 90°.

Het minimum van deviatie is voor ijs met een brekende hoek van 90° vrijwel 46°. Het kleinste minimum wordt bereikt door het rood, nl. 45°10', voor de andere kleuren wordt het geleidelijk groter, voor het geel 45°44', voor het violet 47°16'. De gemiddelde waarde van het minimum van deviatie is op 45,7°, afgerond op 46°, te stellen. Bij deze brekende hoek behoren halovormen, die zich bij het minimum van 46° aansluiten. Hun ontwikkeling komt in hoofdzaak overeen met die van de groep van 22° bij een brekende hoek van 60°. De loop der lichtstralen is in fig. 32 voorgesteld voor een plaatjeskristal en een zuiltje.



## 12. De grote kring of de kring van $46^\circ$

De grote kring is een cirkelvormige kring om de zon met een straal van  $46^\circ$ . Hij is zelden volledig ontwikkeld en gewoonlijk zwakker maar kleurrijker dan de gewone kring. Men vindt hem in fig. 33 afgebeeld met de kring van  $22^\circ$ , de bijzonnen en de raakbogen daaraan, alsmede de nog te bespreken benedenzijdige raakboog aan de grote kring. Verder komt hij voor in fig. 23, 34, 54, 56 en op Plaat V.

Fig. 32 schetst de stralengang in de kristallen waarbij hij gevormd wordt.

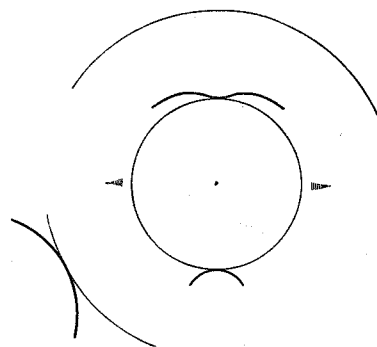
De grote kring komt in ongeordende kristallen tot stand bij een brekende hoek van  $90^\circ$ . De verklaring komt overeen met die van de kring van  $22^\circ$ .

De grote kring is een weinig algemene halovorm. Gemiddeld wordt hij jaarlijks op 17 dagen in Nederland gezien.

## 13. De circumzenitale boog (boog van Bravais)

De circumzenitale boog is een cirkelvormige boog, die op grote hoogte aan de hemel rondom het zenit gelegen is, evenwijdig aan de horizon.

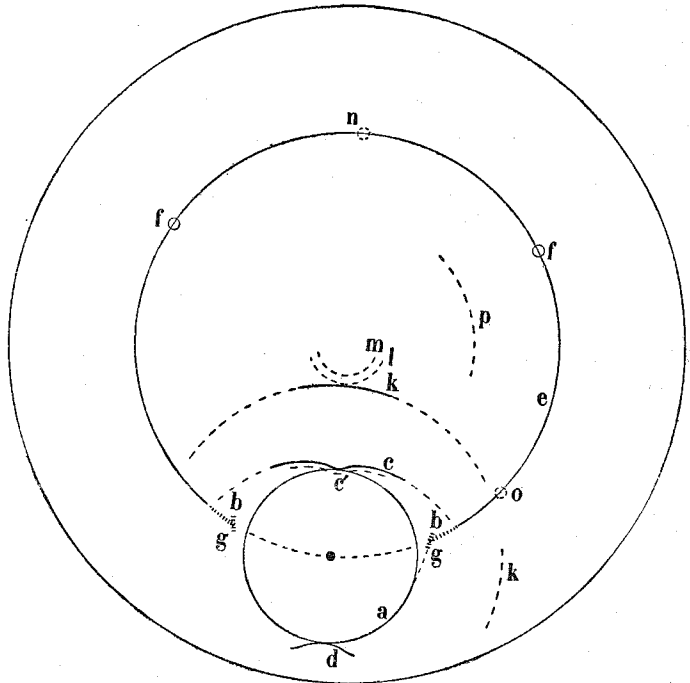
Bij een zonshoogte van  $22^\circ$  is zijn afstand tot de zon  $46^\circ$  en raakt hij aan de grote kring in het hoogste punt; bij alle andere zonshoogten is zijn afstand tot de zon groter dan  $46^\circ$ . Bij zeer hoge zonnestand wordt de straal dus geleidelijk kleiner. De boog verdwijnt in het zenit bij een zonshoogte van  $32,1^\circ$ . Hij werd nog gezien bij een zonnestand van  $30,2^\circ$  hoogte. Alleen het gedeelte, dat naar de zon toegericht is, is zichtbaar (zie ook nr. 45, blz. 95). Hij kan voorkomen zonder dat de grote kring aanwezig is. Deze boog onderscheidt zich vaak door zijn



Figuur 33. De halo van 26 mei 1934.  
Zonshoogte  $28,3^\circ$ .

bijzonder fraaie kleuren, die hem op een regenboog doen lijken (de „regenboghe verkeert staende” te Kampen in 1610, fig. 25). De circumzenitale boog is afgebeeld in fig. 34 en wel als boog *m* boven de grote kring. De figuur is een samenvatting van verschillende waarnemingen.

Er komen veel zeldzame halovormen in voor, die nog besproken zullen worden. Voorts vindt men deze boog afgebeeld in fig. 54 en 56. De circumzenitale boog wordt licht verward met de bovenraakboog aan de grote kring (nr. 18, blz. 69). Voor het aantal waarnemingen in ons land wordt daarom naar deze boog verwezen.



Figuur 34. De halo van 26 maart 1920. Zonshoogte ongeveer 28°.

#### 14. De circumhorizontale boog<sup>1)</sup>

De *circumhorizontale boog* is een cirkelvormige boog op geringe hoogte aan de hemel, evenwijdig aan de horizon. Bij een zonshoogte

<sup>1)</sup> De naam „circumhorizontaal”, afkomstig van Bravais, is ongelukkig: men kan wel spreken van „circumzenitaal”, d.i. rondom een punt, het zenit, maar moeilijk van een cirkel rondom een andere cirkel. Toch zullen we aan deze naam, die algemeen in gebruik is, vasthouden omdat de bedoeling duidelijk is.



Bijzon aan de kring van 22°.

*Foto Aalders.*



Bovenraakboog aan de kring van 22°.

*Foto Aalders.*

Plaat IV.



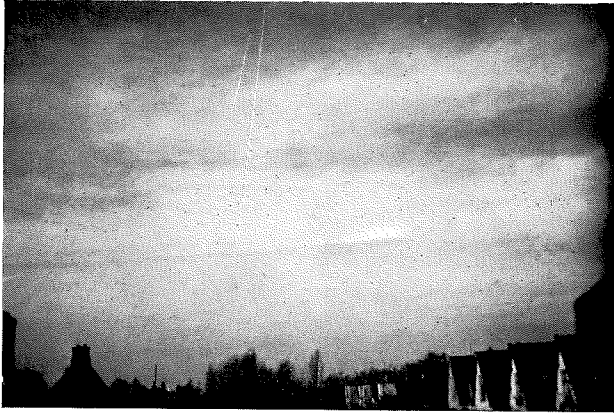
plaat V. Gedeelte van de kring van  $46^\circ$ .

*Foto Alders.*



Zuil boven de zon.

*Foto Alders.*



Plaat VI. Bijtegenzon van  $60^\circ$  met de parhelische ring, 18 december 1942.  
*Foto's Aalders en Schlimme.*

loopt de doorgaande lichtstraal scheef ten opzichte van de brekende ribbe. Het minimum van deviatie wordt groter dan  $46^\circ$ . Men kan aantonen, dat de boog zich voor die gevallen in horizontale richting uitbreidt.

Houdt men de figuur 35 ondersteboven en keert men de richting der lichtstralen om, dan komt de loop der lichtstralen voor de *circumhorizontale boog* voor de dag. Het licht valt nu in op een der verticale zijvlakken van het prisma en treedt uit door het horizontale, onderste basisvlak. Ook voor de circumhorizontale boog geldt dat hij bij een bepaalde zonshoogte ( $68^\circ$ ) aan de grote kring raakt <sup>1)</sup> en zich steeds horizontaal uitbreidt. Beide bogen liggen in horizontale vlakken en hebben hun middelpunt in het zenit. Omdat de hoofdas verticaal staat, zijn het ook cirkels rondom de hoofdasen der zwevende kristallen.

De circumhorizontale boog is in Nederland zeer zeldzaam, omdat hij alleen bij hoogstaande zon (minstens  $50^\circ$ ) voldoende boven de horizon komt om te worden gezien. De enige waarneming is die van de heer J. C. M. Kruisinga te Vriezenveen op 18 juni 1939.

15. De benedenzijdelingse raakbogen aan de grote kring

16. De bovenzijdelingse raakbogen aan de grote kring

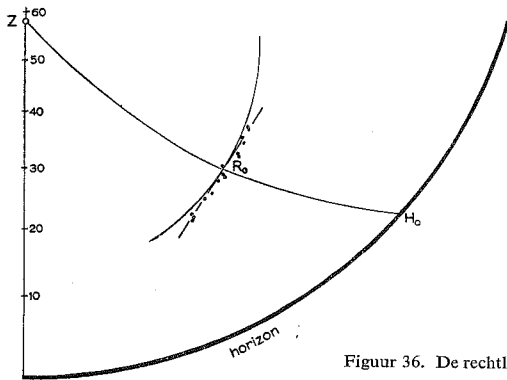
De *benedenzijdelingse* of *infralaterale bogen* zijn schuin gestelde min of meer gekromde bogen buiten de grote kring en aan deze rakende in een bepaald punt in de onderste helft van de kring links of rechts van de zon. Bij lage zonnestand keren deze bogen de bolle zijde naar de zon toe. Bij een zonshoogte van  $57^\circ 50'$  worden zij recht en bij nog hogere zonnestand keren zij de holle zijde naar de zon. Het raakpunt verplaatst zich bij stijgende zon in benedenwaartse richting langs de kring.

Fig. 36 geeft de rechtlijnige benedenzijdelingse raakboog en de erop verrichte metingen (de zwarte punten) bij een waarneming op 16 april 1924 te Batavia (thans Djakarta).

De *bovenzijdelingse* of *supralaterale bogen* zijn dergelijke bogen met raakpunten aan de grote kring in de bovenste helft, links of rechts van de zon. Zij wijken slechts weinig van de grote kring af en hun aanwezigheid kan in de regel alleen door meting worden aangetoond.

1)  $45^\circ + \frac{1}{2} \text{ straal} = 45 + 23 = 68^\circ$ . Zie noot 1 op blz. 65.

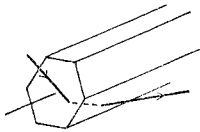
Vaak openbaren zij zich slechts door een lichtvlek op de grote kring in het raakpunt.  
 Deze vier bogen kunnen ook zonder de kring voorkomen.



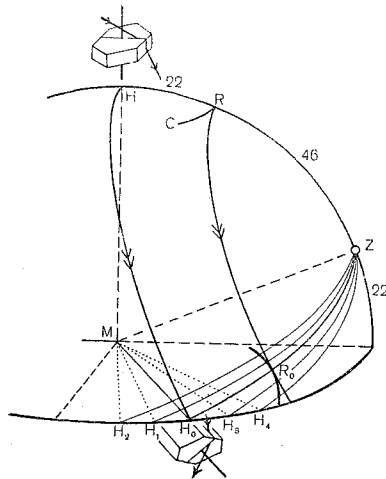
Figuur 36. De rechtlijnige infralaterale boog.

In fig. 18 $h_1$  en  $h_2$  vindt men beide benedenzijdige raakbogen afgebeeld; verder komen zij voor in fig. 33, 36, 46, 47 en 56.

Deze bogen ontstaan alle door breking van het licht in een hoek van  $90^\circ$  bij kristallen met horizontale hoofdas. De gang van de lichtstralen is voor de onderste bogen voorgesteld in fig. 37. Houden wij deze figuur omgekeerd voor ons en keren wij de richting der lichtstralen



Figuur 37.  
 Loop van de lichtstralen voor de benedenzijdige raakboog aan de grote kring.



Figuur 38. Vorming van de benedenzijdige raakboog aan de grote kring.

om, dan hebben wij een voorstelling van de loop van het licht voor de bovenste boog.

Voor hun verklaring beschouwen wij de circumzenitale boog RC bij een zonshoogte van  $22^\circ$  (fig. 38). Bij deze zonshoogte raakt de boog in het punt R aan de grote kring. De afstand ZR van de zon tot het raakpunt is  $46^\circ$ ; de afstand ZH van de zon tot het zenit is  $68^\circ$ . De voorste helft van de boog is voorgesteld door het horizontale boogje RC. Nu draaien wij de hoofdas MH om de lijn MZ tot hij de horizontale stand  $MH_0$  inneemt. De cirkel HRZ komt nu in de stand  $H_0R_0Z$ . De boog  $ZH_0$  blijft bij deze draaiing  $68^\circ$ . Ook de breking blijft dezelfde en er vormt zich ook nu een boogje dat geheel met RC overeenkomt. Het raakt dus in  $R_0$  aan de grote kring en heeft zijn middelpunt in  $H_0$ . De stand  $MH_0$  is echter niet de enig mogelijke. De hoofdasen wijzen naar alle richtingen in het horizontale vlak. Voor de standen  $MH_1$ ,  $MH_2$  enz. zijn de afstanden tot de zon ( $H_1Z$ ,  $H_2Z$  enz.) groter dan  $68^\circ$ , voor de standen  $MH_3$ ,  $MH_4$  enz. kleiner. Bij iedere richting van de hoofdas komt een lichtboogje tot stand, maar de boogjes moeten voor al deze richtingen zich vormen op grotere afstand van de zon dan  $46^\circ$ . Alle boogjes tezamen vormen de infralaterale boog. In fig. 38 zijn (alleen ter illustratie!) ook aangegeven de stand en de vorm van de kristallen, waarin de circumzenitale en de infralaterale boog tot stand komen, alsmede de stralengang.

Bij iedere andere zonshoogte dan  $22^\circ$  geldt een overeenkomstige verklaring. Men kan het punt waar de benedenzijdelingse boog aan de grote kring raakt, als volgt bepalen. Men beschrijft met de zon als middelpunt een cirkel met een straal van  $68^\circ$ . Deze cirkel snijdt de horizon. Het snijpunt komt overeen met het punt  $H_0$  in fig. 38, en geeft dus de stand van de hoofdas in het horizontale vlak aan, waarbij de gevraagde raking plaats heeft. Het raakpunt ligt daar waar de boog van  $68^\circ$  lengte de grote kring snijdt. Aan weerszijden van dit snijpunt verwijderd de benedenzijdelingse raakboog zich van de kring van  $46^\circ$ . Bij de berekening van de vorm van de infralaterale bogen blijkt, dat bij laagstaande zon deze bogen de bolle zijde naar de zon toekeren, bij hoge zon de holle. De overgang, de rechte boog (in werkelijkheid een deel van een grote cirkel), komt tot stand bij een zonshoogte van  $57^\circ 50'$ , overeenkomstig de waarneming van fig. 36. In deze figuur heeft de boog  $H_0R_0Z$  dezelfde betekenis als in fig. 38.

Bij zonshoogten boven  $68^\circ$  gaat deze boog over in een niet-rakende boog beneden de grote kring.

Uitgaande van de circumhorizontale boog kunnen wij de supralaterale bogen op overeenkomstige wijze verklaren.



De benedenzijdelingse raakbogen zijn alleen boven de horizon zichtbaar bij hoogstaande zon en zijn daarom zeer zeldzaam in Nederland. Gemiddeld worden zij op 0,7 dag per jaar waargenomen. Stellige waarnemingen van de bovenzijdelingse raakbogen zijn heel moeilijk omdat zij weinig van de grote kring afwijken en hierdoor nauwkeurige metingen vereist worden. Het aantal betrouwbare waarnemingen in de jaren 1918—1953 bedroeg 10.

#### 17. De bijzon van $46^\circ$

De *bijzon van  $46^\circ$*  is een min of meer gekleurde lichtvlek op of buiten de grote kring op gelijke hoogte als de zon, dus op de parhelische ring. De afstand neemt met de zonshoogte toe, evenals bij de gewone bijzon. De theorie komt geheel overeen met die van de gewone bijzon. Ook nu lopen in het minimum van deviatie de geprojecteerde lichtstralen symmetrisch ten opzichte van de brekende hoek;  $r_p$  is dan bij alle zonshoogtes  $45^\circ$ . Bij de uiterste zonshoogte wordt het minimum van deviatie der geprojecteerde stralen  $90^\circ$ . Bij dit azimutsverschil met de zon komt dus het laatste spoor van de bijzon tot stand. De uiterste zonshoogte is dan  $32^\circ 12'$ . Bij deze zonshoogte kan dus ook deze bijzon de indruk maken van de bijzon op  $90^\circ$ . De zonshoogte wordt met de vergelijking in  $n'$  en  $n$  (blz. 54) berekend; voor het grensgeval is  $n' = \sqrt{2}$ .

Deze bijzon moet gevormd worden in kristallen met een brekende hoek van  $90^\circ$ , terwijl de ribbe van deze hoek verticaal staat. Bij de beide zweefstanden van het ijskristal, zowel van het plaatje als van het zuiltje, liggen echter de brekende ribben van de rechte hoeken alle horizontaal. Alleen onder bijzondere omstandigheden kunnen de ribben verticaal staan. Dit is het geval bij samengestelde kristallen, en wel bij drielingen en vierlingen (fig. 20). De verticale prismavlakken vormen hierbij met het basisvlak aan het vrije uiteinde de vereiste hoek van  $90^\circ$  met de juiste stand van de brekende ribbe. De hoofdas ligt steeds horizontaal.

Voor een andere verklaring zie men blz. 91.

Deze bijzon is zeer zeldzaam. Zij is in Nederland in de 36 jaren 1918—1953 zeven maal waargenomen. Zij is afgebeeld in fig. 34o.

#### 18. De bovenraakboog aan de grote kring (boog van Galle)

#### 19. De benedenraakboog aan de grote kring

De *bovenraakboog aan de grote kring* is een boog van veranderlijke gedaante, die aan het bovenste punt van de grote kring raakt. De

*benedenraakboog aan de grote kring* is een dergelijke boog, die aan het onderste punt van de grote kring raakt.

Deze beide bogen kunnen zonder de kring van  $46^\circ$  aan de hemel zichtbaar zijn. Zij onderscheiden zich meestal weinig van de circumzenitale en circumhorizontale boog (nr. 13 en 14). Het duidelijkste verschilpunt betreft de raking aan de grote kring. De hier bedoelde bogen 18 en 19 raken bij alle zonshoogten aan de kring, de bogen 13 en 14 alleen bij één bepaalde zonshoogte (blz. 64 en 65). Men vindt de echte raakbogen afgebeeld in fig. 23 en 34l.

Voor hun vorming moeten kristallen aanwezig zijn, waarvan de hoofdas wentelt om een horizontale draaiingsas. De brekende hoek moet  $90^\circ$  zijn.

Hun verklaring loopt geheel parallel aan die van de raakbogen aan de kleine kring (zie blz. 56). Hun gedaanteverandering komt ook in grote trekken met die der gewone raakbogen overeen. Zij breiden zich echter niet zo ver uit, dat er een voldoende zichtbare omhullende kring zou kunnen ontstaan.

Het is moeilijk zonder metingen bij de waarnemingen te beslissen met welke bogen (nr. 13 of nr. 18; nr. 14 of nr. 19) men te doen heeft. Worden alle bovenbogen bij de grote kring samengesteld, dan blijken er gemiddeld 33 dagen per jaar te zijn, waarop ze worden waargenomen. De benedenbogen worden veel minder waargenomen omdat zij een hoge zonnestand, minstens  $50^\circ$  boven de horizon, vereisen om duidelijk gezien te kunnen worden.

Er bestaat een nauwe verwantschap tussen de echte circumzenitale boog en de bijzonnen (blz. 98). Alle bovenbogen samengeteld vertonen echter van jaar tot jaar niet hetzelfde verloop als de bijzonnen. Hieruit mogen we afleiden, dat het grootste gedeelte de echte raakbogen betreft; wat ook wel te verwachten is, omdat de raakbogen uiteraard veel algemener moeten zijn dan de circumzenitale.

#### *Andere brekende hoeken*

Andere brekende hoeken dan de bovenbehandelde van  $60^\circ$  en  $90^\circ$  komen voor bij ijskristallen, waarbij de prisma's afgesloten zijn door piramides op de plaats van de basisvlakken (zie fig. 19, blz. 39). Er zijn verschillende vormen van piramides mogelijk. Men onderscheidt ze van elkander door de hellingen van de piramidevlakken ten opzichte van de hoofdas van het kristal. Theoretisch is slechts een beperkt aantal hellingen mogelijk. Het enige ijskristal dat men ooit met zekerheid heeft kunnen opmeten, had een piramidevlak met een helling van  $54^\circ 44'$ . Hiervan uitgaande, kan men berekenen welke andere piramides

bestaanbaar zijn. Ze lopen uiteen van een zeer spitse piramide met een hellingshoek van  $10^\circ$  tot een zeer stompe met een helling van  $80^\circ$ . De hier genoemde helling van  $54^\circ 44'$  is gebaseerd op de metingen van Clarke, in januari 1821 verricht op bijzonder fraaie en grote ijskristallen in de vorm van romboëders met tweevlakshoeken van  $120^\circ$  en  $60^\circ$ . Vele waren meer dan een inch lang. Ze hadden zich gevormd in het sproeiwater onder een brug te Cambridge (Engeland).

Voor de beschrijving van de kristallen maakt men in de kristallografie gebruik van een assenstelsel; in het hexagonale kristal van een assenstelsel, bestaande uit drie bijassen in één plat vlak, waarvan de positieve richtingen hoeken van  $120^\circ$  maken, en een vierde as, de hoofdas van het kristal, loodrecht op dit vlak. Men neemt nu één kristalvlak, dat alle vier assen snijdt als grondvlak. Dit vlak snijdt van de assen stukken af, die zich verhouden als  $(a : b : c : d)$ . Een ander kristalvlak snijdt stukken af, die zich verhouden als  $(ma : nb : pc : qd)$ . Het grondvlak wordt aangegeven door  $(1a : 1b : 1c : 1d)$  of door de coëfficiënten  $(1 : 1 : 1 : 1)$ , het andere vlak dan door  $(m : n : p : q)$ . Proefondervindelijk is gebleken, dat  $m, n, p$  en  $q$  eenvoudige gehele getallen zijn,  $\infty$  inbegrepen. Dit is de wet van Hauy (spreek uit Howie).

Maakt het grondvlak een helling  $x_0$  met de hoofdas, een ander piramidevlak een hoek  $x$ , dan geldt ook de volgende betrekking, die nauw verband houdt met de wet van Hauy:

$$\operatorname{tg} x = \frac{n}{m} \operatorname{tg} x_0,$$

waarin ook  $n$  en  $m$  eenvoudige gehele getallen zijn.

Bravais en Pernter namen beide als grondvlak het piramidevlak van Clarke aan. De door hen onderzochte verhoudingen zijn in de volgende tabel opgenomen.

Bravais	1/8	1/4	—	1/2	2/3	1/1	—	3/2	2/1	—	4/1	8/1
Pernter	—	1/4	1/3	1/2	—	1/1	4/3	3/2	2/1	3/1	—	—

Halo-	—	20a	3	24	23a	22	21	23b	20b	—	44	—
nummers		25e	25a	25b	27	25c	25d	26b	28d	—	—	—
		28a	26a	28b	29	28c		31b				
			31a			30						

Ieder van deze verhoudingen levert een theoretisch mogelijk piramidevlak. Welke in de natuur voorkomen, is tot nu toe door directe metingen op ijskristallen niet gebleken.

De nummers van de in Nederland waargenomen ongewone halo's zijn aan deze tabel toegevoegd. Hieruit blijkt met grote waarschijnlijkheid, dat een aantal van de mogelijke piramides inderdaad voorkomt.

Door röntgen-analyse kan men de moleculaire bouw van het kristal vaststellen en hieruit de waarschijnlijkste helling van het piramidevlak afleiden. Wat het ijskristal betreft, is volgens Humphreys (1922) op gezag van St John, Dennison en W. H. Bragg de hellingshoek  $31^{\circ}41'$ , volgens Krastanow (1943), gebaseerd op metingen van Bernal en Fowler,  $46^{\circ}55'$ . Deze hoek is vrij nauwkeurig door de hellingsfactor  $3/4$  met de hoek van Clarke in verband te brengen; de andere hoek echter hangt niet door een eenvoudige rationele verhouding samen met die van Krastanow of Clarke. Hier vallen nog moeilijkheden op te lossen!

Het licht kan door elk der vlakken van het kristal invallen. Het kan echter niet door alle vlakken uit treden, omdat er inwendig totale terugkaatsing mogelijk is. Ieder tweetal vlakken vormt een brekende hoek van bepaalde grootte en in iedere brekende hoek heeft de lichtbreking plaats volgens het minimum van deviatie, wanneer de lichtstraal symmetrisch ten opzichte van de brekende hoek het kristal doorloopt. Naarmate de brekende hoek groter is, neemt ook het minimum van deviatie toe. Men kan aantonen dat er geen breking kan plaats hebben, wanneer de brekende hoek groter dan  $99^{\circ}$  is <sup>1)</sup>.

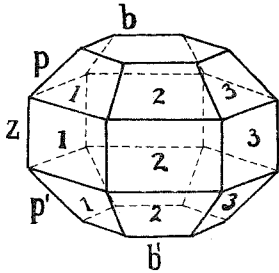
Wij kunnen de kristalvlakken aanduiden als in fig. 39. Hierin zijn  $b$  en  $b'$  basisvlakken,  $p$  en  $p'$  piramidevlakken,  $z$  de prismatische zijvlakken. De vlakken worden van 1-6 genummerd. De brekende hoeken kunnen dan in de volgende groepen worden ingedeeld.

Brekende vlakken		Stand van de brekende ribbe bij verticale hoofdas	
Groep 1	$z_1z_3$		bij horizontale hoofdas
2	$zb; zb'$	—	
3	$bp'; b'p$	—	
4a	$z_1p_4; z_1p'_4$	—	
4b	$z_1p_3; z_1p'_3$	/	
5a	$p_1p_4; p'_1p'_4$	—	
5b	$p_1p_3; p'_1p'_3$	/	
6a	$p_1p'_1$	—	
6b	$p_1p'_2$	/	
6c	$p_1p'_3$	/	

<sup>1)</sup> De uiterste brekende hoek is gelijk aan tweemaal de grenshoek van totale reflectie.

In iedere groep bestaan verschillende gevallen, b.v. in groep 1:  $z_1z_3$  en  $z_3z_1$ ;  $z_2z_4$  en  $z_4z_2$ ;  $z_3z_5$  en  $z_5z_3$ ;  $z_4z_6$  en  $z_6z_4$ ;  $z_5z_1$  en  $z_1z_5$ ;  $z_6z_2$  en  $z_2z_6$ ; in groep 3:  $bp'_1$ ,  $bp'_2$ ,  $bp'_3$ , enz.

Groep 1 heeft betrekking op de brekende hoek van  $60^\circ$ ; groep 2 op die van  $90^\circ$ .



Figuur 39.  
Indeling van de kristalvlakken.

Er zijn nog meer combinaties. Bij deze is echter de brekende hoek groter dan  $99^\circ$ . Daardoor vallen uit:  $z_1z_2$ ,  $z_1p_1$ ,  $z_1p_2$ ,  $bp$  en  $p_1p_2$ .

Voor ieder der mogelijke piramides geldt eenzelfde indeling. Zodoende is er een zeer groot aantal gevallen denkbaar, zóveel, dat het vaak niet mogelijk is de kristalvorm aan te geven, waaraan een bepaalde waargenomen halo zijn ontstaan te danken heeft.

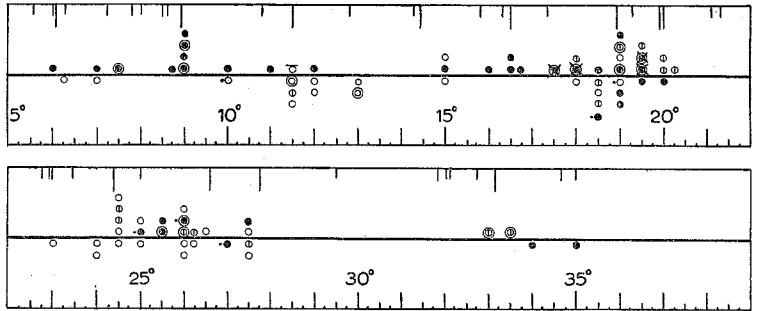
Ook deze met piramides afgesloten kristallen kunnen in rustige atmosfeer een bepaalde zweefstand hebben met verticale of horizontale hoofdas. De brekende ribbe kan verticaal of horizontaal, maar ook schuin gericht zijn. De stand van de brekende ribbe is in de rechter helft van bovenstaande tabel schematisch aangegeven voor het geval dat de hoofdas verticaal staat. Wil men de stand van de brekende ribbe bij horizontale hoofdas kennen, dan houdt men dit schema dwars voor zich.

### Kringen met ongewone straal

Onder *kringen met ongewone straal* verstaat men kringen om de lichtbron, waarvan de straal van die van de kleine en de grote kring afwijkt. Hun stralen lopen uiteen van  $6^\circ$  tot  $35^\circ$ .

Zij worden gevormd door breking in ijskristallen, waarvan één of beide basisvlakken door piramides vervangen zijn, terwijl de hoofdassen willekeurig gericht zijn. Er moet zich dan, geheel overeenkomstig de gewone kringen, een kring om de zon vormen waarvan de straal gelijk is aan het minimum van deviatie bij de desbetreffende brekende hoek. Er zijn in Nederland van 1892 tot einde 1953 op 71 verschillende dagen 83 waarnemingen van ongewone kringen verricht <sup>1)</sup>. Alle waar-

<sup>1)</sup> Er is er sinds de eerste druk van dit boekje slechts één bijgekomen, een kring met een straal van  $24\frac{1}{2}^\circ$ , met een octant opgemeten door de heer Oosterman te Wildervank op 30 september 1947.



Figuur 40. Frequenties van ongewone kringen.

nemingen zijn in fig. 40 opgenomen, tot op  $1/4^\circ$  afgerond. Onder de streep zijn onnauwkeurige waarnemingen ingetekend, erboven die welke alle vertrouwen verdienen. De volgende tekens zijn gebruikt: een gesloten kring: waarneming met de kleine kring; een open kring: waarneming zonder de kleine kring; een staande streep door de kring: een waarneming kort voor of kort na de kleine kring; een dubbele kring: gelijktijdige waarneming van twee of meer ongewone kringen; een stip: waarneming van een bijzon of bijmaan op ongewone afstand; een liggende streep: waarneming van een bovenraakboog aan de ongewone kring; een kruis: secundaire kringen als gevolg van buiging (zie blz. 77).

De streepjes langs de bovenrand van de figuur duiden de theoretisch mogelijke kringen aan; de lange de in het volgende overzicht toegepaste. Dit overzicht bevat de kringen, welke in de waargenomen gevallen onderscheiden kunnen worden; voor ieder hunner wordt vermeld het aantal waarnemingen in Nederland van 1892–1953; de theoretisch mogelijke kring, de grootte van de brekende hoek, de optisch werkzame kristalvlakken en tussen haakjes de hellingshoek van het prismavlak.

20. Kring van  $6-7^\circ$ , Halo van Hall; genaamd naar de eerste beschrijver. Vijf waarnemingen.

Theoretisch waarschijnlijk  $6^\circ 8'$ ; brekende hoek  $19^\circ 28'$ ;  $z_1 p_4$  ( $a$ ,  $19^\circ 28'$ ) of  $bp'_1$  ( $b$ ,  $70^\circ 32'$ ).

21. Kring van  $9^\circ$ , Halo van Van Everdingen. Zeven waarnemingen.

Theoretisch  $8^\circ 56'$ ; brekende hoek  $27^\circ 56'$ ;  $bp'$  ( $62^\circ 4'$ ).

Deze kring werd het eerst nauwkeurig opgemeten door Van Everdingen op 23 september 1909. Hij vond met medewerking van P. H. Gallé een straal van  $8,8^\circ$ .

22. Kring van  $11\frac{1}{2}^\circ$ . Acht waarnemingen.

Theoretisch  $11^\circ 30'$ ; brekende hoek  $35^\circ 16'$ ;  $bp'$  ( $54^\circ 44'$ ).

23. Kring van  $15^\circ$ , Halo van Heiden  $14^\circ 21'$ . Drie waarnemingen.

Theoretisch  $14^\circ 31'$ ; brekende hoek  $43^\circ 20'$ ;  $z_{1p_4}$  ( $a$ ,  $43^\circ 19'$ ) of  $p_{1p'_2}$  ( $b$ ,  $64^\circ 46'$ ).

24. Kring van  $16\frac{1}{2}^\circ$ . Vier waarnemingen.

Theoretisch waarschijnlijk  $16^\circ 29'$ ; brekende hoek  $48^\circ 12'$ ;  $p_{1p'_3}$  ( $35^\circ 16'$ ).

25. Kring van  $18-20^\circ$ , Halo van Burney  $20^\circ$ . Twintig waarnemingen.

Vier verschillende theoretische kringen:  $18^\circ 54'$ ;  $p_{1p'_3}$  ( $a$ ,  $25^\circ 14'$ );  $19^\circ 20'$ ;  $bp'$  ( $b$ ,  $35^\circ 16'$ ) of  $z_{1p_4}$  ( $c$ ,  $54^\circ 44'$ );  $19^\circ 51'$ ;  $p_{1p'_1}$  ( $d$ ,  $62^\circ 4'$ );  $20^\circ 2'$ ;  $p_{1p'_3}$  ( $e$ ,  $19^\circ 28'$ ).

Brekende hoeken resp.  $53^\circ 48'$ ;  $54^\circ 44'$ ;  $55^\circ 52'$  en  $56^\circ 16'$ .

Misschien twee verschillende kringen:  $18\frac{3}{4}^\circ$  met 14 waarnemingen; (theoretisch  $18^\circ 54'$ );  $20^\circ$  met 6 waarnemingen (theoretisch  $19^\circ 51'$  of  $20^\circ 2'$ ).

26. Kring van  $24\frac{1}{2}^\circ$ . Tien waarnemingen.

Theoretisch  $24^\circ 21'$ ; brekende hoek  $64^\circ 46'$ ;  $bp'$  ( $a$ ,  $25^\circ 14'$ ) of  $z_{1p_4}$  ( $b$ ,  $64^\circ 46'$ ).

27. Kring van  $26^\circ$ , Halo van Scheiner. Tien waarnemingen.

Theoretisch  $26^\circ 36'$ ; brekende hoek  $68^\circ 40'$ ;  $z_{1p_3}$  ( $43^\circ 19'$ ).

28. Kring van  $27\frac{1}{2}^\circ$ . Vijf waarnemingen.

Theoretisch  $27^\circ 45'$ ; brekende hoek  $70^\circ 32'$ ; vijf verschillende ontstaansmogelijkheden:  $bp'$  en  $p_{1p'_3}$  ( $a$ ,  $19^\circ 28'$ );  $p_{1p'_4}$  ( $b$ ,  $35^\circ 16'$ );  $p_{1p'_1}$  ( $c$ ,  $54^\circ 44'$ ) en  $z_{1p_4}$  ( $d$ ,  $70^\circ 32'$ ).

29. Kring van  $33-34^\circ$ , Halo van Feuillée. Drie waarnemingen.

Theoretisch  $33^\circ 11'$ ; brekende hoek  $78^\circ 7'$ ;  $p_{1p'_2}$  ( $43^\circ 19'$ ).

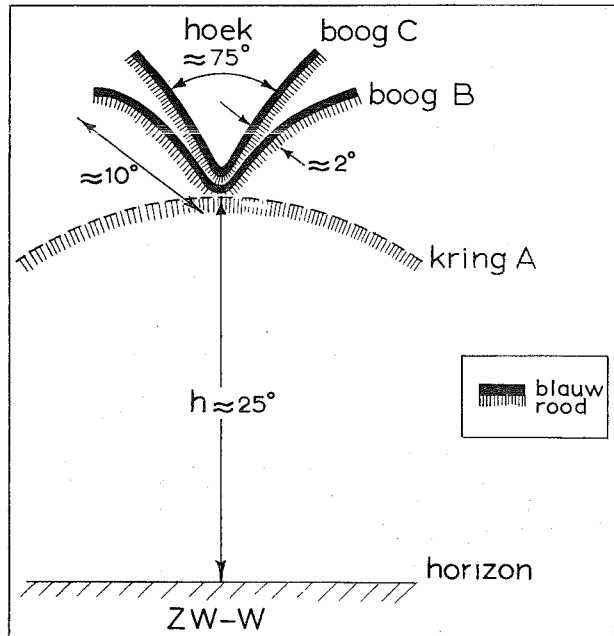
Wij verwijzen hier naar de *scheve ring door de zon* (nr. 3) en de *elliptische halo van Hissink* (nr. 44), die ook tot de rubriek van ongewone kringen behoren.

Betrouwbare gegevens over al deze kringen zijn zeer gewenst. Wie dus het geluk heeft een dergelijke kring te zien, moet alles doen om een zo goed mogelijke meting te kunnen verrichten.

### Bijzonnen bij ongewone kringen

*Bijzonnen bij ongewone kringen* moeten ontstaan onder dezelfde voorwaarden als die bij de kleine kring. Zij kunnen op gelijke hoogte als de zon alleen gevormd worden bij verticale hoofdassen en verticale brekende ribben.

Volgens het bovengegeven schema voor de stand van de brekende ribbe blijkt, dat bijzonnen alleen kunnen ontstaan in groep 1. Dit zijn de gewone bijzonnen bij de brekende hoek van  $60^\circ$ . In geen enkele andere groep is een bijzon mogelijk (in groep 2 bij uitzondering; zie nr. 17, blz. 69). In Nederland zijn zes bijzonnen bij ongewone kringen waargenomen. Zij kunnen niet door breking in piramidevlakken met verti-



Figuur 41. Raakboog aan de kring van  $24\frac{1}{2}^\circ$ .



cale hoofdas verklaard worden. Vermoedelijk zijn het gewone bijzonnen geweest.

### Raakbogen aan ongewone kringen

30. Eenmaal is een raakboog aan een kring van  $11\frac{1}{2}^\circ$  gezien (op 15 april 1933 door Ir J. G. Lepper te Aerdenhout).

31. Wij vermelden hier ook de waarneming van een raakboog aan de kring van  $24\frac{1}{2}^\circ$  in Duitsland door de heer C. T. J. Alkemade op 8 november 1944 (fig. 41C), tegelijk met de kleine kring (A) en de bovenraakboog (B).

Deze ongewone raakboog moet worden toegeschreven aan wentelende plaatvormige kristallen, waarbij het licht intreedt op het bovenste basisvlak en uitreedt door een piramidevlak aan de onderzijde met een helling van  $25^\circ 14'$  (31a, bp' volgens de gegevens bij nr. 26, de kring van  $24\frac{1}{2}^\circ$ ; de andere daar genoemde mogelijkheid (31b) levert geen geschikt plaatjeskristal op).

Ook de raakboog aan de kring van  $11\frac{1}{2}^\circ$  komt op geheel overeenkomstige wijze tot stand bij een hellingshoek van  $54^\circ 44'$ , de hoek van Clarke (de enige mogelijkheid volgens de gegevens bij nr. 27).

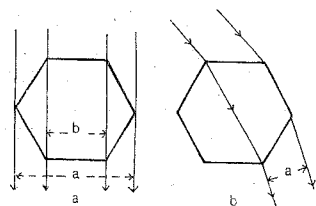
Bij schuingestelde brekende ribben moeten theoretisch bogen kunnen ontstaan. Hun theorie is niet uitgewerkt. Waarschijnlijk zijn halo's van deze aard nooit waargenomen.

### C. HALO'S DOOR BUIGING

#### 32. Secundaire kringen

Wij hebben reeds besproken, dat het ijskristal als b.v. in fig. 42a als een lang, smal scherpje *a* werkt (uitwendige buiging), dat aanleiding is tot het optreden van kransverschijnselen. Ook het doorvallende licht (spleetbreedte *b*) geeft buiging (inwendige buiging) (zie hoofdstuk 4, blz. 34). Eveneens moet het gebroken licht als in fig. 42b buigingsverschijnselen vertonen. Deze uiten

zich op dezelfde wijze: door wijziging in de optredende kleuren en door de vorming van buigingsringen. Deze ringen hebben, wat hun ontstaan betreft, grote overeenkomst met de secundaire bogen van de regenboog. Zij begeleidt de kleine kring; zij kunnen echter zowel aan de binnenzijde voorkomen als aan de buitenzijde, doch de laatste zullen gewoonlijk door het licht van



Figuur 42.  
Doorgang van het licht bij de buiging.

de kring zelve overstraald worden. In overeenstemming met de secundaire bogen van de regenboog worden de buigingsringen aan de kleine kring *secundaire kringen* genoemd.

Hun afstanden tot de kleine kring worden bepaald door dezelfde vergelijking als voor de krans

$$\sin b = n \frac{l}{a}$$

$b$  = buigingshoek;  $n$  = rangorde van de ring;  $l$  = golflengte;  $a$  = breedte van de spleet.

De secundairen en hun kleuren komen het beste tot ontwikkeling, indien de kristallen alle even groot zijn.

In Nederland zijn er slechts twee waarnemingen van secundaire kringen verricht, beide door de heer C. W. Hissink te Zutphen. Bij de tweede waarneming (op 19 september 1905) werden de stralen met de octant bepaald op  $18^{\circ}0'$  en  $19^{\circ}30'$ . Bovendien is bekend een waarneming van Barkow te Potsdam op 23 juni 1916.

De resultaten van de berekeningen zijn als volgt:

	volgnummer van de ring	buigings- hoek	spleet- wijdte	ribbe van basisvlak
Hissink 19 sept. 1905	1	$2^{\circ}20'$	} 21,1 $\mu$	0,028 mm
	2	3 50		
Barkow 23 juni 1916	1	$2,6^{\circ}$	} 18,4 $\mu$	0,024
	2	4,4		

Als kleuren werden op 19 september 1905 te Nijmegen geconstateerd rood, geel, blauw (breed), violet (smal). De berekening volgens Pernters methode leverde hetzelfde op: het groen ontbrak, het blauw was  $40'$  breed, het violet  $15'$ .

Het is niet gemakkelijk vast te stellen of men te doen heeft met echte buigingsringen of met de hierboven beschreven kringen met ongewone straal. Een zeker kenmerk is echter, dat de secundaire kringen steeds gelijktijdig met de kring van  $22^{\circ}$  moeten voorkomen. Slechts dan, wanneer er minstens twee secundairen tegelijk voorkomen en wanneer hun afstanden tot de kleine kring en de optredende kleuren met de buigingstheorie te verklaren zijn, mag men aannemen, dat ze door buiging ontstaan zijn. Men moet dus niet alleen de afmetingen zo goed mogelijk bepalen, maar tevens een uitvoerige kleurbeschrijving (de kleuren en hun breedten!) geven.

#### D. HALO'S DOOR HERHAALDE TERUGKAATSING EN BREKING

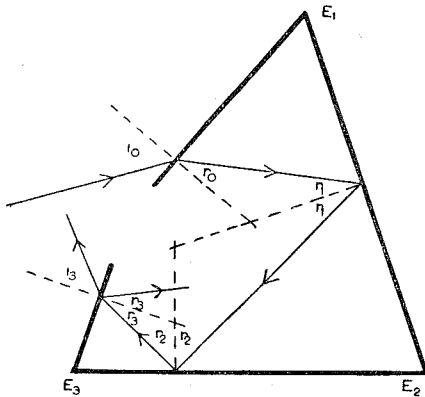
Er bestaat een aantal zeldzame halovormen, die moeten worden toegeschreven aan een ingewikkelde stralengang, soms gecombineerd met een ongewone kristalvorm. Bij deze halo's is dikwijls meer dan één verklaring mogelijk. Men onderscheidt de volgende drie gevallen:

1. *Inwendige terugkaatsing in een enkelvoudig kristal.* Het licht wordt in een enkelvoudig kristal een of meermalen teruggekaatst alvorens uit te treden (blz. 81).
2. *Uitwendige terugkaatsing bij samengestelde kristallen.* Het licht, dat op een vlak van een samengesteld kristal (een drieling, een vierling e.d.) valt, wordt hierop teruggekaatst naar een ander vlak van hetzelfde kristal en opnieuw uitwendig teruggekaatst (blz. 90).
3. *Terugkaatsing en breking in een tweede kristal* (blz. 90).

#### Herhaalde terugkaatsingen

a. Bij  $n$  inwendige reflecties met breking bij in- en uittreding (fig. 43) wordt de deviatie  $D$ :

$$\begin{aligned}
 D &= i_0 - r_0 + (180 - 2r_1) + (180 - 2r_2) + \dots + (180 - 2r_n) + i_{n+1} - r_{n+1} \\
 &= i_0 + i_{n+1} + n \times 180 - (r_0 + r_1) - (r_1 + r_2) - \dots - (r_n + r_{n+1}) \\
 &= i_0 + i_{n+1} + n \times 180 - (E_1 + E_2 + E_3 \dots E_{n+1}) \\
 &= i_0 + i_{n+1} + n \times 180 - \Sigma E.
 \end{aligned}$$



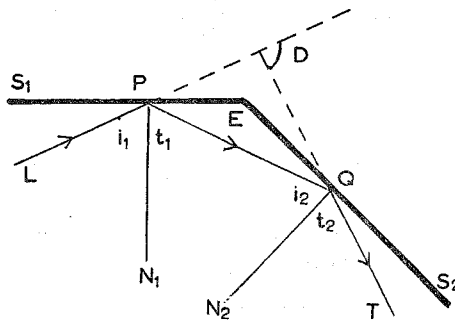
Figuur 43. Herhaalde terugkaatsing.

Het aantal brekende hoeken  $E$  is 1 groter dan het aantal terugkaatsingen.

Bij de deviatie ten gevolge van de terugkaatsingen voegt zich die van

de breking bij het intreden en bij het uittreden van de lichtstraal. Het geval kan zich hierbij voordoen, dat de kleurschifting bij het uittreden juist tegengesteld is aan die bij het intreden in het kristal. In dit geval wordt de kleurschifting opgeheven, en er ontstaat een ongekleurde halo. Wordt de kleurschifting niet opgeheven, dan vormen zich kleuren. Of de kleuren duidelijk te zien zullen zijn, hangt af van de lichtsterkte en van de optredende buiging. Wij zullen alleen de gevallen met één en met twee reflecties behandelen.

b. Het geval van twee uitwendige reflecties is voorgesteld in fig. 44. Deze figuur geeft de loodrechte doorsnede van twee spiegels  $S_1$  en  $S_2$ ,



Figuur 44.  
Terugkaatsing in twee spiegels.

die een hoek  $E$  maken. De spiegels en hun snijlijn staan loodrecht op het vlak van het papier. Een lichtstraal  $L$  in dit vlak wordt teruggekaatsd op  $S_1$ . De invalshoek  $i_1$  is gelijk aan de terugkaatsingshoek  $t_1$ . De teruggekaatste straal wordt vervolgens op  $S_2$  gespiegeld; wederom geldt  $i_2 = t_2$ . De straal treedt uit in de richting  $T$ . De deviatie wordt nu:

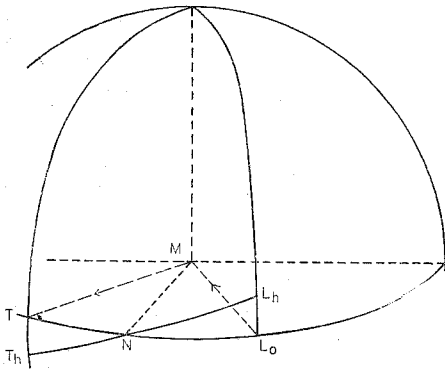
$$D = (180 - 2t_1) + (180 - 2t_2)$$

$$= 2 \times 180 - 2(t_1 + t_2) = 360 - 2E.$$

De deviatie hangt alleen af van de spiegelhoek  $E$  en is onafhankelijk van de invalshoek. Hoe dus ook de stand van de dubbele spiegel ten opzichte van de invallende stralen is, steeds is de deviatie dezelfde.

De hier voorgestelde gevallen zijn die van verticale spiegelvlakken met de lichtbron in de horizon. Staat de lichtbron boven de horizon, dan valt de lichtstraal schuin in ten opzichte van de verticale spiegels. In dit geval geldt de regel, dat bij iedere terugkaatsing het azimutverschil tussen de invallende en de teruggekaatste straal onafhankelijk is van de zonshoogte. Het azimutverschil tussen twee punten aan de hemel is de hoek tussen de hoogtecirkels van die punten, gemeten langs de horizon.

In fig. 45 stelt het vlak van tekening de spiegel voor en MN de normaal op het spiegelvlak. Staat de zon in de horizon in het punt  $L_0$ , dan is  $L_0M$  de invallende lichtstraal en  $MT$  de teruggekaatste. De invalshoek is gelijk aan de terugkaatsingshoek, dus is ook boog  $L_0N =$  boog  $NT$ . Het azimuthverschil is  $L_0T$ . Staat de zon boven de horizon in  $L_h$ , dan is de invalshoek gelijk aan de boog  $L_hN$  en de terugkaatsingshoek is gelijk aan boog  $NT_h$  en het azimuthverschil blijft  $L_0T$ . Op ieder kristalvlak, dat de lichtbundel bereikt, wordt het licht over de gebroken en de teruggekaatste straal verdeeld. Bij herhaling wordt



Figuur 45. Terugkaatsing op een spiegel bij scheve inval.

dan de lichtsterkte weldra te zwak om een merkbaar lichteffect te kunnen opleveren. Alleen wanneer een inwendige terugkaatsing totaal is, komt de volle intensiteit van het invallende licht aan het gereflecteerde ten goede.

Een belangrijk punt is ook de breedte van de lichtbundel, die langs de voorgeschreven weg door het kristal kan passeren. Vaak zal blijken, dat deze bundel heel smal uitvalt en dus de intensiteit van het uit-tredende licht slechts gering is.

Bij de verklaring komen in de eerste plaats die gevallen in aanmerking waarbij totale terugkaatsing optreedt. In de tweede plaats mogen die gevallen beschouwd worden, waarbij de deviatie van het tenslotte uit-tredende licht minimaal is, omdat alleen dan de sterkte van het uit-tredende licht nog groot genoeg is, om de optredende halovormen zichtbaar te doen zijn. In alle andere gevallen mag het tweemaal teruggekaatste licht verwaarloosd worden. Tenslotte dient ook de breedte van de passerende lichtbundel te worden nagegaan.

## 1. Inwendige terugkaatsingen in een enkelvoudig kristal

### 1a. Gevallen met één inwendige terugkaatsing

#### 33. De benedenbijzon

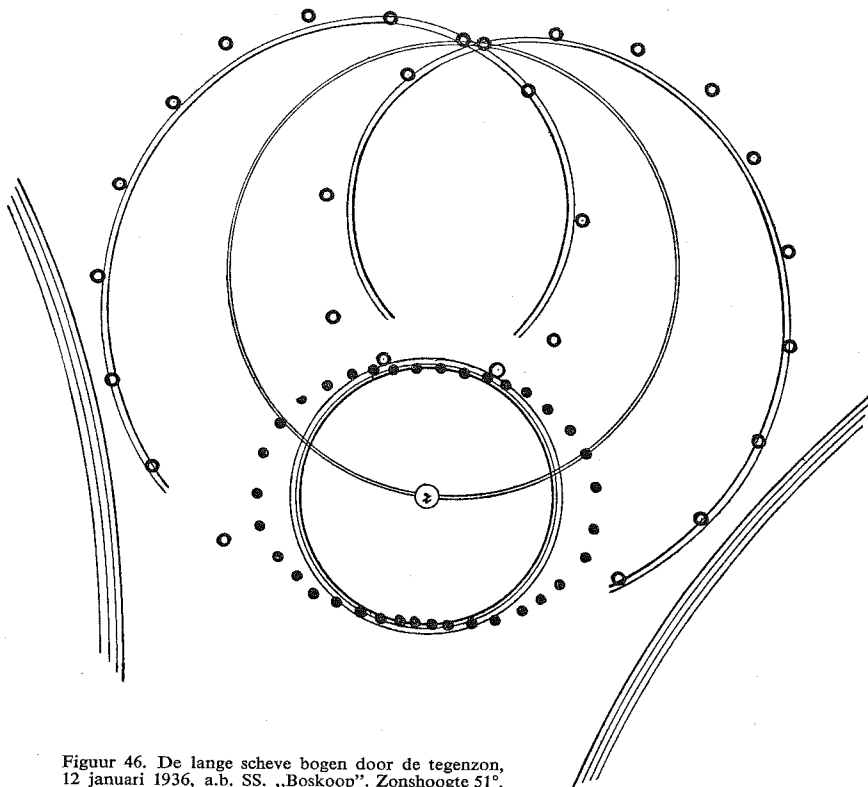
De *benedenbijzon* is een gekleurde lichtvlek recht onder de gewone bijzon en wel even laag onder de horizon als de gewone erboven staat. Deze bijzon ontstaat wanneer licht, dat bij de intrede door het verticale prismavlak  $z_1$  van een zwevend plaatje gebroken wordt, vervolgens op het onderste horizontale basisvlak inwendig teruggekaatst wordt en ten slotte door het prismavlak  $z_3$  uittreedt. De brekende hoek is hierbij  $60^\circ$ . Er vormt zich een gekleurde bijzon, en deze is ten gevolge van de spiegeling in het horizontale basisvlak het spiegelbeeld van de gewone bijzon. De terugkaatsing is bij zonshoogten kleiner dan  $30^\circ$  totaal en bij alle zonshoogten vormt de benedenbijzon zich in het minimum van deviatie.

De benedenbijzon werd in 1937 op twee dagen door de sergeant-vlieger G. Nijhuis (Soesterberg) uit het vliegtuig waargenomen; op één van deze dagen werden beide tegelijk gezien.

#### 34. De lange scheve bogen door de tegenzon

De *lange scheve bogen door de tegenzon* zijn twee niet of zwak gekleurde bogen die elkaar in de tegenzon snijden en die zich bij volle ontwikkeling uitbreiden tot aan de kleine kring, waaraan zij in het bovenste en het onderste punt uitwendig raken (zie fig. 46). In de omgeving van deze raakpunten zijn zij het zwakst. Bij lage zonnestand is alleen het bovenste gedeelte zichtbaar. De ontwikkeling begint aan de kant van het raakpunt. De bogen strekken zich bij stijgende zon steeds verder uit en bereiken bij een zonnestand hoger dan  $38^\circ$  de tegenzon.

De lange scheve bogen zijn te beschouwen als een spiegelbeeld van de omhullende halo (zie nr. 9, blz. 56). De omhullende komt tot stand door de breking van het licht in twee prismavlakken ( $z_1$  en  $z_3$ ) van een horizontaal zwevend zuiltje. Het licht kan na de breking in het eerste prismavlak op elk van de beide verticaal staande basisvlakken teruggekaatst worden voordat het door het andere prismavlak uittreedt. Dan vormt het uittreedende licht de lange scheve bogen door de tegenzon. Het spiegelende basisvlak staat verticaal en ieder punt van deze bogen is dus een spiegelbeeld van een even hoog gelegen punt van de omhullende halo. Zij bereiken de tegenzon bij die zonshoogte waarbij de omhullende tot de parhelische ring reikt, dus bij  $38^\circ$ .



Figuur 46. De lange scheve bogen door de tegenzon, 12 januari 1936, a.b. SS. „Boskoop”. Zonshoogte 51°.

De breking heeft steeds plaats volgens het minimum van deviatie. De terugkaatsing is voor alle lichtstralen totaal wanneer de zon hoger dan 30° staat. Alleen bij zonnestanden hoger dan 30° worden de scheve bogen dan ook duidelijk zichtbaar <sup>1)</sup>.

Fig. 46 geeft de waarneming van deze boog op 12 januari 1936 a.b. van het Nederlandse s.s. „Boskoop” in de Caraïbische Zee. De ingetekende open punten stellen de berekende vorm van de bogen voor, de gesloten punten die van de omhullende. De waarneming sluit bij-

<sup>1)</sup> Deze verklaring is door Alfred Wegener gegeven. Die van Hastings, volgens wie deze scheve bogen op te vatten zouden zijn als spiegelbeelden van de boog van Parry, is onaanvaardbaar, omdat deze boog veel zwakker, veel korter en veel zeldzamer is dan de omhullende halo.

zonder goed bij de theorie aan. De omhullende werd als een cirkel getekend maar opgemerkt werd, dat de halo om de zon iets afgeplat scheen met de lange as horizontaal. Hier is weer de invloed van de schijnbare afplatting van het hemelgewelf merkbaar, waardoor de afmeting van de halo in verticale richting overschat werd. In de figuur komen ook de volledige parhelische ring door de zon Z en de benedenzijdige raakbogen aan de grote kring voor (de vier-maal-gestreepte bogen).

De alleroudste waarneming van de scheve bogen door de tegenzon is die op 4 juni 1596 te 9h45 min aan boord van de twee Amsterdamse schepen onder bevel van Jacob van Heemskerck en Jan Cornelisz. Rijp op de „Derde Seijlagie bij noorden om”, welke zou eindigen met de overwintering op Nova Zembla.

Deze merkwaardige halo staat afgebeeld in het reisverhaal van Gerrit de Veer en is hier afgebeeld als fig. 47. Dr M. Pinkhof heeft erop gewezen, dat de halo op zijn kop staat en zonder enig begrip in de tekening is geplaatst. Hier hebben we een tweede voorbeeld van de wonderlijke opvattingen van een tekenaar (zie fig. 25).

De halo omvat de kleine kring, de beide bijzonnen, de parhelische ring, beide infralaterale bogen, de complete bovenste scheve boog door de tegenzon en waarschijnlijk een eerste begin van de onderste.

De scheve bogen door de tegenzon zijn uiterst zeldzaam. Volledig ontwikkeld zijn ze in Nederland nooit waargenomen. Het is mogelijk, dat er wel brokstukken gezien zijn (het boogje *p* in fig. 34, *k* in fig. 56). Hierbij kan echter ook een andere verklaring gegeven worden (blz. 92). Wij verwijzen hier naar de halo van Kern (nr. 45, blz. 95), die ook tot deze groep behoort.

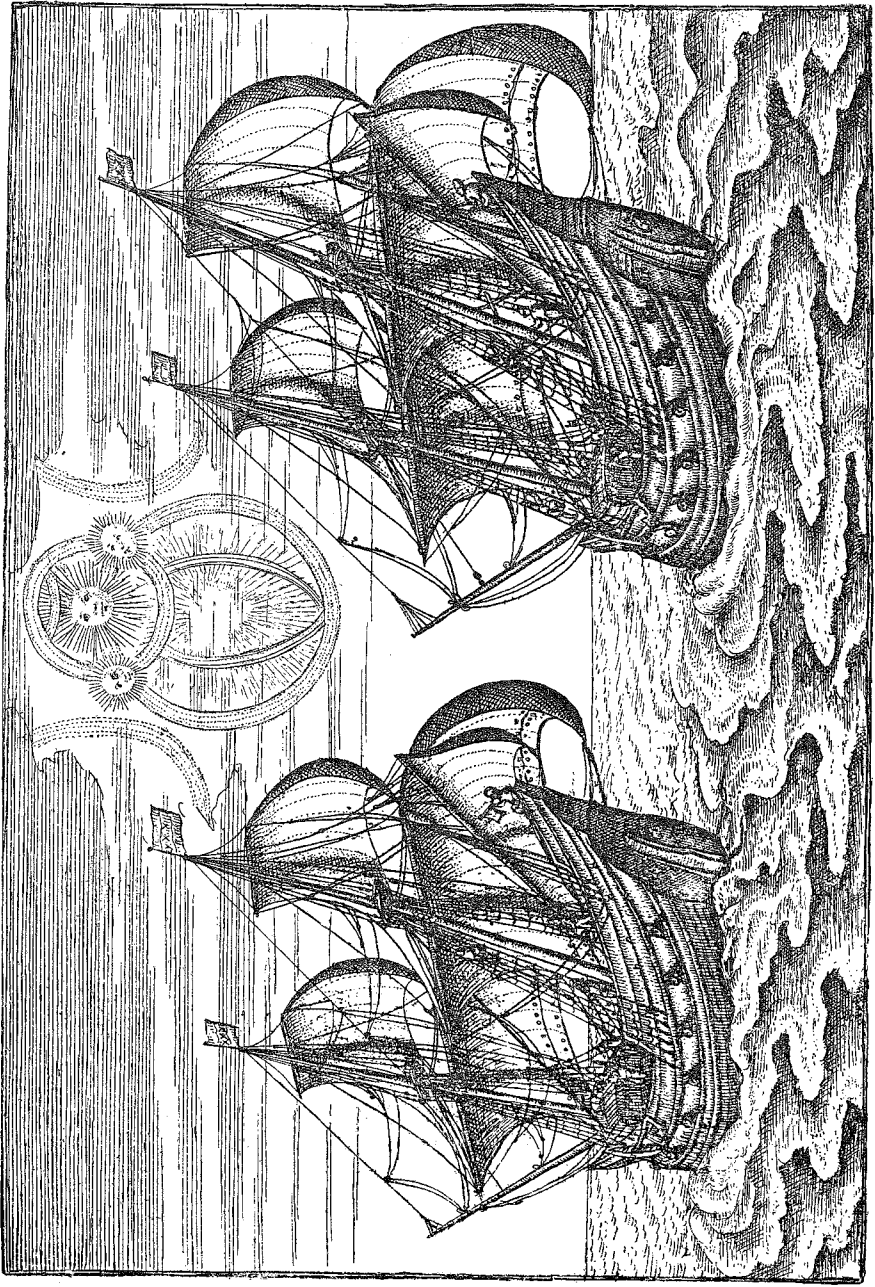
#### 1b. Gevallen met twee inwendige terugkaatsingen

In het volgende zullen verschillende bijzonnen ter sprake komen, alle op de parhelische ring op verschillende afstanden tot de zon. Wij zullen van *bijzonnen* spreken, wanneer de afstand tot de zon kleiner is dan  $90^\circ$ , van *bijtegenzonnen*, wanneer de afstand groter is dan  $90^\circ$ . Wij betrekken ze dan op de *tegenzon*, de bijzon juist tegenover de zon gelegen (nr. 39, blz. 90).

Bij de plaatsbepaling van al deze bijzonnen is de uitkomst afhankelijk van de gebruikte methode. Met de wolken-theodoliet (blz. 19) meet men het *azimutsverschil* tussen de zon en de bijzon, met de sextant, de jakobsstaf, de vingers van de hand de *afstand* van de zon tot de bijzon.

Het *azimutsverschil* tussen twee punten aan de hemel is de hoek tussen





Figuur 47. De halo van Gerrit de Veer, 4 juni 1596. Cliché *Linschoten-Vereeniging*.

de hoogtecirkels door die twee punten, gemeten langs de horizon. De *afstand* is de hoek, gemeten langs de grote cirkel tussen de twee punten. Het is noodzakelijk, dat men het gebruikte meetinstrument steeds noemt. Ook bij schattingen van de plaats geve men duidelijk aan of men het azimutsverschil of de afstand bedoelt <sup>1)</sup>. Alleen voor twee punten op of vlakbij de horizon zijn beide hoeken (bogen) gelijk. In alle andere gevallen is het azimutsverschil het grootste.

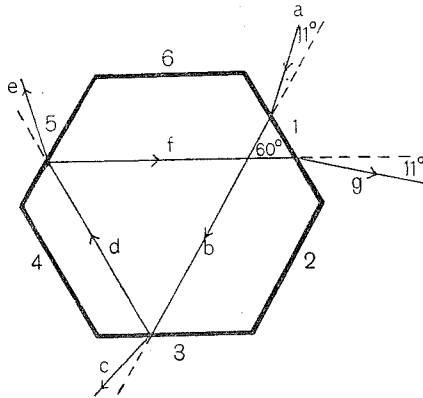
### 35. De bijtegenzon op $82^\circ$

De *bijtegenzon* op  $82^\circ$  is een zeer zwakke, gekleurde lichtvlek op  $82^\circ$  van de tegenzon, wanneer de zon in de horizon staat. Het rood staat aan de kant van de tegenzon (fig. 54g en fig. 56g).

De lichtbundel, in fig. 48 voorgesteld door de lichtstraal abdfg, loopt over de prismavlakken 1 3 5 1. Hij doorloopt het kristal evenwijdig aan de zijden 2, 4 en 6. Voor de getekende lichtstraal is de deviatie minimaal <sup>2)</sup>. De vergelijking voor meervoudige terugkaatsingen (blz. 79) geeft in dit geval voor de minimumdeviatie:

$$D = 41^\circ + 41^\circ + 2 \times 180^\circ - 3 \times 60^\circ = 82^\circ + 180^\circ.$$

Er vormt zich een bijzon op  $360 - (82 + 180) = 98^\circ$  van de zon, of wel op  $82^\circ$  van de tegenzon, wanneer de zon in de horizon staat.



Figuur 48.  
Vorming van de bijtegenzon op  $82^\circ$ .

1) Men geeft b.v. het azimutsverschil aan als men de plaats als volgt schat: de zon in ZO, de bijzon in WZW het azimutsverschil is dan  $112\frac{1}{2}^\circ$ .

2) Het licht, dat bij vlak 3 uittreedt (straal c), vormt de gewone bijzon; het licht, dat bij vlak 5 uittreedt (straal e), ondervindt geen breking en levert een lichtversterking op de parhelische ring, zonder dat er zich een bijzon vormt.

Deze hoek van  $82^\circ$  vindt men ook in de figuur terug. De breking geschiedt volkomen op dezelfde wijze als bij de gewone bijzon, met dit verschil, dat deze bijzon zich bij stijging van de zon verwijdert van de tegenzon. Zij moet dan ook gekleurd zijn met het rood aan de kant van de tegenzon.

Bij een zonshoogte van  $32^\circ$  is het *azimutsverschil* met de zon  $90^\circ$ , bij een zonshoogte van  $45^\circ$  is de *afstand* tot de zon  $90^\circ$ .

De breedte van de passerende lichtbundel wordt bepaald door de volle breedte van het invalsvlak 1. Deze bundel wordt begrensd door het prismavlak 2 en het hieraan evenwijdig lopende diagonaalvlak. De lichtsterkte, voor zover afhankelijk van de breedte van de lichtbundel, is dus maximaal. Desalniettemin is deze bijtegenzon zeldzaam.

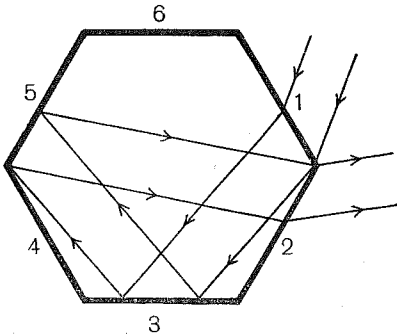
De plaats is uit de waarnemingen niet nauwkeurig vast te stellen, omdat lang niet altijd duidelijk is hoe de opgegeven „afstand” gemeten is. En zo is er verwarring met andere bijzonnen mogelijk, zelfs met de gewone, zoals in de theoretische beschouwingen op blz. 54 is uiteengezet. In zeven gevallen, die door Ten Kate kritisch zijn bestudeerd, is het of zeker of waarschijnlijk, dat de bijtegenzon van  $60^\circ$  (zie het volgende nummer, 36) bedoeld is, terwijl een achtste geval twijfelachtig is.

### 36. De bijtegenzon op $60^\circ$

De *bijtegenzon op  $60^\circ$*  is een witte lichtvlek op dezelfde hoogte als de zon en met een vast azimutsverschil van  $120^\circ$  met de zon. Zij staat op de parhelische ring. Aan weerszijden van de zon is er een mogelijk. Men vindt een afbeelding in fig. 18 en 34 en op Plaat VI.

Deze bijtegenzon is door Mascart als volgt verklaard. De lichtweg loopt over de vlakken 1 3 5 2 (fig. 49). Bij deze stralengang treedt geen kleurschifting op en komt, onafhankelijk van de invalshoek een bijzon tot stand met een vast azimutsverschil van  $120^\circ$  met de zon.

In de figuur is de breedte van de passerende lichtbundel ingetekend. De breedte is minder dan de helft van die der bijtegenzon van  $82^\circ$ . Wanneer wij bedenken, dat om te beginnen voor beide bijzonnen de lichtweg gelijk is, 1 3 5, en het



Figuur 49. Vorming van de bijtegenzon op  $60^\circ$ .

lichtverlies door uittreidend licht dan ook vrijwel gelijk, dan ligt de conclusie voor de hand, dat de bijtegenzon van  $60^\circ$  veel lichtzwakker moet zijn dan de ander. Hier komt nog bij, dat de stand van het kristal ten opzichte van het invallende zonlicht weinig in beide gevallen verschilt; de beide bijzonnen zouden noodzakelijk steeds tegelijk gezien moeten worden. Noch het een, noch het ander is het geval. De enige conclusie is, dat ten minste één van beide verklaringen onjuist is, en waarschijnlijk geldt dit voor de verklaring van Mascart. De bijtegenzon op  $60^\circ$  kan ook als volgt verklaard worden. Het licht valt in op het bovenste basisvlak van een zwevend plaatje, wordt tweemaal inwendig totaal teruggekaatst op twee naast elkaar gelegen verticale prismavlakken en treedt dan uit door het onderste basisvlak. De twee prismavlakken maken een hoek van  $120^\circ$  en vormen dus de vereiste hoekspiegel, waardoor een lichtbeeld op  $120^\circ$  tot stand komt. De kleurschifting wordt opgeheven; de bijtegenzon is ongekleurd. Het azimutsverschil is onafhankelijk van de zonshoogte. Deze verklaring, afkomstig van Hastings, heeft veel voor op die van Mascart, omdat er alleen totale reflecties bij gebruikt worden. Zij kan echter niet gelden voor de zon in de horizon. Voor een derde verklaring zie men blz. 90.

De bijtegenzon van  $60^\circ$  is in Nederland een zeldzaam verschijnsel. In de 36 jaren 1918–1953 werd zij gemiddeld 1,7 maal per jaar gezien.

#### *Een bijzondere vorm van de bijtegenzon op $60^\circ$*

In 1950 zag de heer J. C. Ruiter te Enkhuizen op de plaats van deze bijtegenzon een vijftal witte strepen naast elkaar. Hetzelfde werd op 11 april 1933 bij een uitgebreide halo in Midden-Java waargenomen. Hebben we hier te doen met een interferentieverschijnsel?

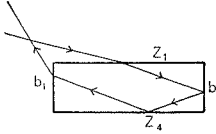
#### 37. De bijtegenzon op $46^\circ$

De *bijtegenzon op  $46^\circ$*  is een zwakke gekleurde lichtvlek op gelijke hoogte als de zon met  $46^\circ$  azimutsverschil met de tegenzon, wanneer de zon in de horizon staat.

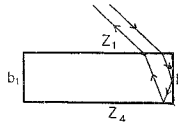
Zij wordt door Pernter verklaard door de volgende lichtgang (fig. 50, horizontale doorsnede). Het licht valt in op een verticaal prismavlak  $z_1$ , wordt achtereenvolgens teruggekaatst op een verticaal basisvlak  $b$  en het verticale prismavlak  $z_4$  en treedt ten slotte uit door het andere verticale basisvlak  $b_1$ . Hoogstens een van de beide inwendige reflecties kan totaal zijn. Deze lichtgang levert een bijzon op met een minimum van deviatie van  $46^\circ$  ten opzichte van de tegenzon, als de zon in de

horizon staat. De kleurschifting wordt niet opgeheven en het rood staat aan de kant van de tegenzon. Alleen onder zeer bijzondere omstandigheden kan de vereiste zweefstand aanwezig zijn.

Er zijn in Nederland tussen 1918 en 1953 drie waarnemingen bekend geworden.



Figuur 50. Vorming van de bijtegenzon op  $46^\circ$ .



Figuur 51. Vorming van de korte scheve bogen door de tegenzon.

### 38. De korte scheve bogen door de tegenzon

De *korte scheve bogen door de tegenzon* bestaan uit twee paren ongelijke bogen van geringe lengte die elkaar in de tegenzon snijden. De twee bogen van ieder paar hebben een gelijke helling ten opzichte van de horizon. Zij zijn niet steeds alle tegelijk aanwezig; hun aantal kan van 1 tot 4 uiteenlopen.

Hun ontstaan wordt door Hastings als volgt verklaard. Een om de horizontale as wentelend zuiltje bereikt een stand waarbij een prismavlak  $z_1$  vertikaal staat (fig. 51, horizontale doorsnede). Een op  $z_1$  invallende lichtstraal kan inwendig totaal teruggekaatst worden op het verticaal staande basisvlak  $b$  en vervolgens nogmaals worden gespiegeld op het verticale prismavlak  $z_4$ . Daarna treedt de lichtstraal weer uit door  $z_1$ . De deviatie is hierbij  $180^\circ$  (er zijn nl. twee terugkaatsingen in een hoekspiegel van  $90^\circ$ ). Bij wenteling van het zuiltje veranderen de standen van  $z_1$  en  $z_4$  en het uittreedende licht vormt een kort boogje onder een bepaalde helling door de tegenzon. Door terugkaatsing tegen het andere basisvlak  $b_1$  komt het tweede symmetrisch gelegen boogje tot stand.

Komt de zon hoger te staan, dan kan het licht ook passeren door het schuinstaande prismavlak  $z_2$  en via het basisvlak  $b$  en het tegenovergelegen prismavlak  $z_5$  teruggekaatst worden naar  $z_2$ . Hierdoor vormt zich het tweede paar korte scheve bogen door de tegenzon.

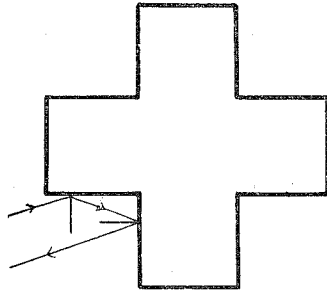
Er zijn van deze bogen in Nederland slechts vijf waarnemingen bekend geworden, waarvan drie tussen 1918 en 1953; hoogstens werden er twee bogen tegelijk gezien.

## 2. Uitwendige terugkaatsingen op samengestelde kristallen

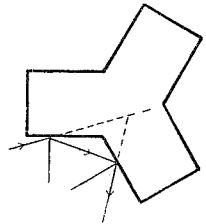
### 39. De tegenzon

De tegenzon is een witte lichtvlek op dezelfde hoogte als de zon tegenover deze gelegen. Zij staat op de parhelische ring. De tegenzon is afgebeeld in fig. 18g en 34.

De tegenzon wordt gevormd door tweevoudige terugkaatsing op verticale vlakken van een vierling (fig. 52). De spiegelhoek is  $90^\circ$ , de deviatie dus  $360^\circ - 2 \times 90^\circ = 180^\circ$ .



Figuur 52. Uitwendige terugkaatsing op een vierling-kristal.



Figuur 53. Uitwendige terugkaatsing op een drieling-kristal.

#### Tweede verklaring

De tegenzon wordt ook weleens beschouwd als te worden gevormd door de doorsnijding van de 4 korte scheve bogen.

Ook de tegenzon is een der zeer zeldzame halovormen. Zij werd tussen 1918 en 1953 tien maal gezien.

Derde verklaring van de bijtegenzon van  $60^\circ$  (afkomstig van Besson). Zie blz. 88 voor de twee andere verklaringen. Zij kan tot stand komen door tweevoudige terugkaatsing op de verticale prismavlakken van een drielingkristal (fig. 53 in horizontale doorsnede). De spiegelhoek is  $120^\circ$ , het azimutsverschil met de zon dus  $360^\circ - 2 \times 120^\circ = 120^\circ$ .

### 3. Terugkaatsing en breking in een tweede kristal

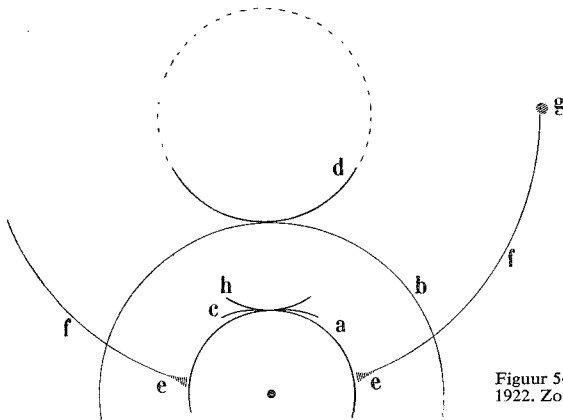
Het geval kan zich voordoen, dat het licht, na een ijskristal gepasseerd te zijn, op een tweede kristal valt en hierin opnieuw terugkaatst of gebroken wordt. De kans hierop neemt toe naarmate de ijswol dichter is. De halo's die hierbij ontstaan, kunnen niet lichtsterk zijn. Men heeft o.a. de volgende vormen willen verklaren.

17. De bijzon van  $46^\circ$  (blz. 69). Deze bijzon zou te beschouwen zijn als een *bijzon van de gewone bijzon*. Het minimum van deviatie moet dan steeds twee maal zo groot zijn. Men vindt (zie de tabel op blz. 55):

zonshoogte	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$
bijbijzon	43,6	44,4	46,2	49,6
bijzon van $46^\circ$	45,7	46,8	50,6	56,9

Er zijn geen metingen verricht, waaruit kan blijken of dit geval voorkomt.

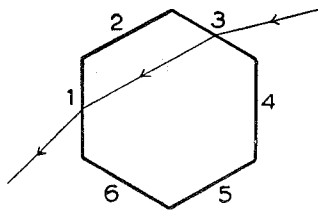
40. Horizontale raakbogen aan de kring van  $22^\circ$   
 De *horizontale raakbogen aan de kring van  $22^\circ$*  zijn horizontale bogen, die aan het bovenste of onderste punt van de kring raken (fig. 54h).



Figuur 54. De halo van 10 maart 1922. Zonshoogte  $27^\circ$ .

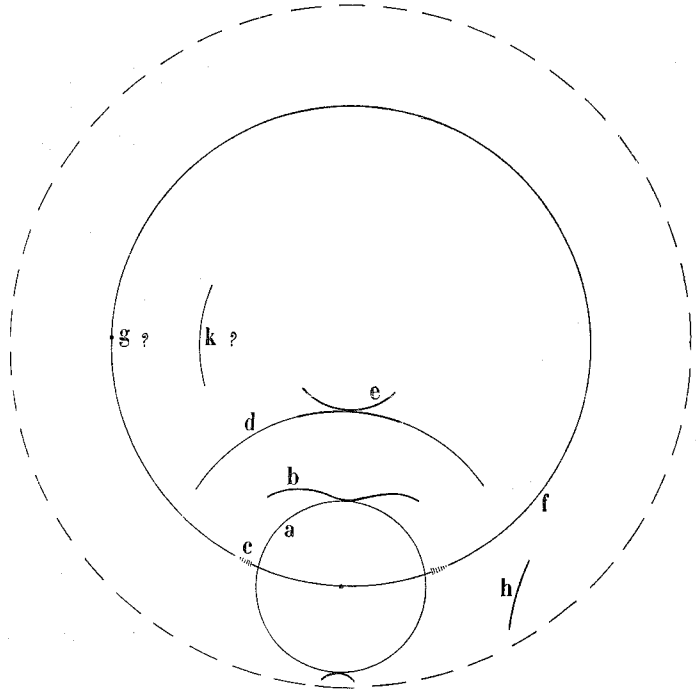
Men verklaart deze halo wel als een „*parhelische ring*” van de *boven- of benedenraakboog*. Hij zou dan gevormd worden door het licht dat afkomstig is van ijskristallen, die de raakboog hebben helpen ontstaan, en dat vervolgens op een vertikaal vlak van een tweede kristal wordt teruggekaatst. Dit teruggekaatste licht moet echter uiterst zwak zijn. Goed aanvaardbaar lijkt deze verklaring niet.

Bij een andere verklaring neemt men zijn toevlucht tot drie- of vierlingen. Hierbij staan steeds twee prismavlakken verticaal, zoals in fig. 55 in verticale doorsnede is aangegeven. Licht, dat op  $z_3$  invalt en door  $z_1$  uittreedt, geeft een lichtboog boven de zon, die aan de



Figuur 55. Vorming van de horizontale raakbogen aan de kring van 22°.

Figuur 56. De halo van 7 april 1903.



kleine kring raakt en zich horizontaal uitbreidt. Keert men de figuur om en tevens de richting van de lichtstralen, dan verkrijgt men de lichtgang voor de onderste horizontale raakboog.

Ten slotte kunnen deze en dergelijke boogjes (fig. 34*p* en 56*k*) opgevat worden als delen van de lange scheve bogen (blz. 82).

Deze bogen zijn in de jaren 1918—1953 op vier dagen in Nederland waargenomen.

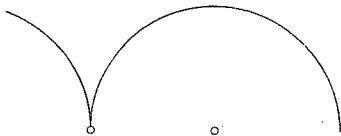


## E. ANDERE ZELDZAME HALO'S

Ons rest nog de beschrijving van enkele halo's die alle zeer zeldzaam zijn en waarvan de verklaring in de meeste gevallen ontbreekt.

### 41. Verticale raakbogen aan de kring van $22^\circ$

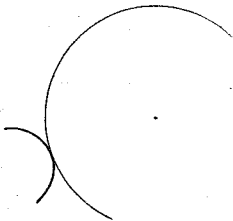
*Verticale raakbogen aan de kleine kring* zijn bogen, waarvan het raakpunt aan de kring op gelijke hoogte als de zon is gelegen. Zij worden steeds cirkelvormig getekend met de bolle zijde naar de zon (fig. 57). Hun verklaring is onbekend. Zij zijn in totaal in Nederland zes maal waargenomen, waarvan vier maal sinds 1918.



Figuur 57. Verticale raakboog aan de kring van  $22^\circ$ , 24 februari 1908. Zonshoogte  $21,6^\circ$ .

### 42. Schuine raakbogen aan de kring van $22^\circ$

*Schuine raakbogen aan de kleine kring* raken de kring in een tamelijk willekeurig gelegen raakpunt (fig. 58). De bogen zijn steeds bol naar de zon toe. Enkele malen heeft men slechts een lichtvlek op de kring



Figuur 58. Schuine raakboog aan de kring van  $22^\circ$ , 9 mei 1932. Zonshoogte  $54,6^\circ$ .

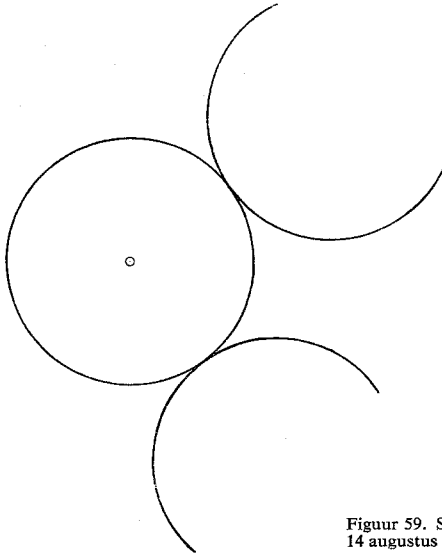
geconstateerd, eens (fig. 59) zag men twee bogen tegelijk (14 augustus 1904 te Aalbeek en Valburg).

De verklaring van deze bogen ontbreekt. Er zijn acht waarnemingen van deze lichtbogen of lichtvlekken in Nederland verricht, waarvan vier in de jaren 1918 tot 1953.

#### 43. De bijtegenzon op 35–38°

De *bijtegenzon* op 35–38° is een zwakke, waarschijnlijk ongekleurde lichtvlek op gelijke hoogte als de zon en op een azimutsafstand van 35–38° van de tegenzon.

Een steekhoudende verklaring is nog niet gegeven.



Figuur 59. Schuine raakbogen aan de kring van 22°, 14 augustus 1904. Zonshoogte 44,2°.

Deze bijzon is zeer zeldzaam. Een goede waarneming, gesteund door een meting, werd op 23 februari 1924 door Dr J. Voûte op de Bosscha-sterrenwacht te Lembang (Java) verricht. Hij vond 141,9° azimutsverschil met de zon (38,1° met de tegenzon), maar liet zich over de kleur niet uit.

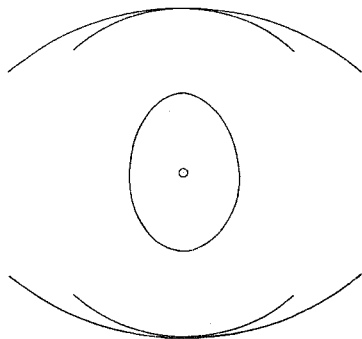
Het is twijfelachtig of de waarnemingen op 7 april 1933 (30° van de tegenzon), op 23 maart 1935 (op 28°) en op 13 mei 1946 (27° met de sextant) aan deze bijzon mogen worden toegeschreven. Misschien moeten we hier spreken van een „bijtegenzon op 27 tot 30°”.

#### 44. De elliptische halo, Halo van Hissink

Hissink nam op 28 juni 1901 een witte kring met helderrode binnenrand en van elliptische gedaante waar. De verticale diameter bedroeg ongeveer 10,5°, de horizontale ongeveer 7,5°, beide met de octant

gemeten (fig. 60). Tegelijkertijd, maar in een andere wolkenvorm, waren fragmenten van de kleine kring en de omhullende zichtbaar. De zonshoogte was  $47^{\circ}50'$ .

Deze halo komt tot stand door lichtbreking in een ijskristal, dat be-



Figuur 60. De elliptische halo van Hissink, 28 juni 1901. Zonshoogte  $47^{\circ}50'$ .

begrensd wordt door een basisvlak en een zeer stompe piramide, waarvan de vlakken hoeken van  $80^{\circ}$  maken met de hoofdas van het kristal (Wet van Hauy,  $n : m = 4 : 1$ , zie blz. 71). Dit kristal moet de gedaante van een plaatje hebben en onveranderlijk met de hoofdas verticaal zweven. De deviatie is in dit geval klein en afhankelijk van de stand van de horizontale brekende ribbe ten opzichte van de invallende lichtstralen. Boven de zon vormt zich een lichtpunt op  $4^{\circ}54'$ , onder de

zon op  $5^{\circ}37'$ ; links en rechts van de zon is de deviatie  $3^{\circ}45'$ . De diameters worden dus verticaal  $10^{\circ}31'$ , horizontaal  $7^{\circ}30'$ . Deze elliptische halo vormt zich niet in het minimum van deviatie. Hij komt, wat dit betreft, overeen met de boog van Parry (nr. 10, blz. 60) en de circumzenitale boog (nr. 13, blz. 63).

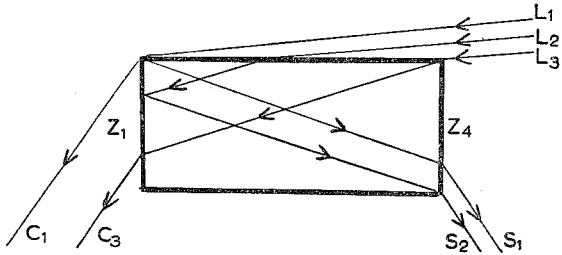
#### 45. De gespiegelde circumzenitale boog. Boog van Kern

Te Loenen aan de Vecht werd op 8 oktober 1895 tussen 7 en 8 uur v.m. door H. F. A. Kern een halo gezien die bestond uit de gewone kring en de circumzenitale boog van omstreeks  $120^{\circ}$  lengte. Bovendien kwam aan de van de zon afgekeerde zijde een tweede veel flauwere boog te zien in het verlengde van de circumzenitale, eveneens ongeveer  $120^{\circ}$  lang.

Fig. 61 stelt een verticale doorsnede door een zwevend plaatje voor. De gewone circumzenitale boog komt tot stand bij de stralengang LC, de gespiegelde bij de stralengang L-S, na spiegeling op het verticale prismavlak  $z_1$  en uittreding door  $z_4$ .

Deze halo behoort tot de groep met één inwendige terugkaatsing bij een enkelvoudig kristal (blz. 81). Slechts een klein deel van de inval-

lende bundel, nl.  $L_1L_2$ , kan tot de vorming bijdragen. Hij kan alleen ontstaan bij lage zon; bij hoge zon zou het plaatje veel te hoog moeten worden.



Figuur 61. Vorming van de gespiegelde circumzenitale boog.

#### 46. De kring van $90^\circ$ . Halo van Hevel

Enkele malen is er een kring van  $90^\circ$  straal gezien. Deze kan ontstaan, wanneer de kristallen, die aanleiding geven tot de vorming van de bijtegenzon op  $82^\circ$ , in ongeordende standen aanwezig zijn. De straal is nooit nauwkeurig gemeten. Er is in Nederland één twijfelachtige waarneming verricht op 28 november 1931.

#### 47. De halo van Bouguer

De *halo van Bouguer* is een kring met een straal van  $33$  tot  $38^\circ$  met het middelpunt in het tegenpunt van de zon. Waarschijnlijk komen er twee verschillende kringen voor. Zij komen met de regenboog overeen, die immers ook zijn middelpunt in het tegenpunt van de zon heeft. Of wij inderdaad deze kringen als regenbogen in onderkoelde waterdruppels mogen beschouwen, is echter twijfelachtig. Een betere verklaring is niet gevonden.

In Nederland is de halo van Bouguer nooit waargenomen.

#### 48. De bogen van Arctowski

De *bogen van Arctowski* werden éénmaal tegelijk met de halo van Bouguer waargenomen. Het zijn bogen, waarvan de middelpunten ook onder de horizon liggen op ongeveer  $90^\circ$  azimutverschil met de zon. Een verklaring ontbreekt. In Nederland zijn zij nooit waargenomen.

#### F. HELLENDE HALO'S

Soms worden halovormen in een ongewone stand waargenomen. Men heeft schuin staande zuilen gezien, bijzonnen, die niet even hoog als

de zon stonden, raakbogen, waarvan de raakpunten buiten het verticale vlak door de zon lagen. Men noemt deze halo's, die een hellende stand van de hoofdas vereisen voor hun vorming, daarom *hellende halo's*. Bij waarnemingen van dergelijke verschijnselen moet men zich er wel van vergewissen, dat er geen gezichtsbedrog in het spel is ten gevolge van b.v. een eenzijdige versterking van het licht onder toevallige, gunstige omstandigheden, of van een misleidende wolkenvorm.

Men moet de afwijkende stand van deze halo's toeschrijven aan een van de verticaal afwijkende stand van de hoofdas van het kristal. Hierbij is het strikt noodzakelijk, dat alle hoofdassen nog steeds evenwijdig aan elkaar lopen.

Men heeft een wijziging in de stand van de hoofdas wel verklaard door aan te nemen, dat de ijskristalletjes bij hun val overgaan in een laag met een andere windrichting. De luchtbewegingen op de grenslaag zijn echter steeds zo onregelmatig, dat daardoor zeker geen voor alle kristallen gelijke wijziging in de stand der hoofdassen kan optreden. Men kan ook denken aan de zweefstand van zuiltjes, die eenzijdig te licht zijn door de aanwezigheid van een inwendige holle ruimte. Hierdoor zal de zweefstand iets van de horizontale richting afwijken. Maar het is niet in te zien, dat voor alle kristallen de hoofdassen evenwijdig komen te staan.

Een derde mogelijkheid is, dat de kristallen elektrisch geladen zijn. Bij bepaalde kristalvormen kan die lading door temperatuurveranderingen tot stand komen (men noemt dit verschijnsel *pyro-elektriciteit*). Dan zullen zij door onderlinge aantrekkingen en afstotingen in een bepaalde richting gerangschikt worden evenals ijzervijzel in de buurt van een magneet. Deze richtkracht, mogelijk nog beïnvloed door het aardmagnetische veld, doet de normale zweefstand dus een bepaalde wijziging ondergaan, die voor alle kristallen in een niet al te grote ruimte gelijk is.

#### G. VERWANTE HALO'S

Bepaalde halovormen komen steeds tegelijk voor. Het zijn die vormen welke gelijke kristalvormen in gelijke zweefstand vereisen voor hun ontstaan. Dergelijke halo's noemt men daarom *verwante halo's*.

Uit de gegeven overzichten voor hun ontstaan kunnen de verwante halo's worden afgeleid. Zo zijn dus b.v. verwant de bijzonnen en de circumzenitale boog, die gevormd worden door zwevende plaatjes met verticale hoofdas; dan de boven- en de benedenraakbogen aan de kring van  $22^\circ$  en de zijdelingse raakbogen aan de grote kring die alle ontstaan in draaiende zuiltjes met horizontale hoofdas. Ook onder de

ongewone vormen komen verwante halo's voor. Zo zijn in Nederland tweemaal gelijktijdig kringen van  $26^\circ$  en  $33^\circ$  straal waargenomen (resp. nr. 27 en 29 van het overzicht op blz. 75 en 76).

Zij ontstaan beide in een ijskristal met een piramide waarvan de vlakken  $43^\circ 19'$  op de hoofdas hellen, de eerste door de breking tussen het prismavlak  $Z_1$  en het piramidevlak  $p_3$ ; de andere door breking tussen de piramidevlakken  $p_1$  en  $p'_2$ . De brekende hoek is in het eerste geval  $68^\circ 40'$ , in het laatste  $78^\circ 7'$ .

Met de hierboven beschreven 48 halovormen is het gehele materiaal nog niet uitgeput. Wie een andere halovorm mocht zien, moet zich ervan overtuigen, dat hij niet te doen heeft met een Cirrus-band. Hij wordt verzocht zijn waarnemingen met een zo uitvoerig mogelijke beschrijving aan het K.N.M.I. in te zenden.

#### H. FREQUENTIETABEL

##### *Halo's in Nederland 1918-1953*

	per jaar	to- taal		per jaar	to- taal
1. parhelische ring	16	—	20-29. kringen met ongewone straal, zie blz.	75-76.	—
2. benedenzon	—	3	30-31. raakboog aan deze	—	1
3. scheve ring <sup>1)</sup>	—	1	32. secundaire kringen	—	2
4. zuil	33	—	33. benedenbijzon	—	2
5. kleine ring	215	—	34. lange scheve bogen	—	2?
6. bijzonnen $22^\circ$	78	—	35. bijtegenzon $82^\circ$	—	?
7 en 8. boven- en beneden raakb.	64	—	36. bijtegenzon $60^\circ$	1,7	47
9. omhullende	—	—	37. bijtegenzon $46^\circ$	—	3
10. boog van Parry	0,6	21	38. korte scheve bogen	—	3
11. bogen van Lowitz	4	136	39. tegenzon	0,4	10
12. grote kring	17	—	40. hor. raakbogen $22^\circ$	—	4?
13. circumzen. boog	—	zie nr. 18	41. zijdel. raakbogen $22^\circ$	—	4
14. circumhor. boog	—	1	42. schuine raakbogen $22^\circ$	—	4
15. benedenzijdel. raakboog	0,7	26	43. bijtegenzon $35-38^\circ$	—	3?
16. bovenzijdel. raakboog	0,4	10	44. elliptische halo (Hissink) <sup>2)</sup>	—	—
17. bijzon $46^\circ$	—	7	45. halo van Kern <sup>3)</sup>	—	—
18. bovenraakboog $46^\circ$	33	—	46. halo van Hevel	—	1?
19. benedenraakboog $46^\circ$	—	—	47. halo van Bouguer	—	0
			48. halo van Arctowski	—	0

<sup>1)</sup> Ook een waarneming in 1904;      <sup>2)</sup> in 1901;      <sup>3)</sup> in 1895.  
Gemiddeld aantal halodagen 1918-1953: 232

De eerste getallenkolom in bovenstaande tabel bevat het gemiddelde jaarlijkse aantal waarnemingsdagen van de veel voorkomende halovormen over het 36-jarige tijdvak 1918-1953. De tweede getallenkolom bevat het totale aantal waarnemingsdagen van de zeldzame vormen over hetzelfde tijdvak (voor sommige van deze vormen treft

men een getal aan in beide kolommen). In drie gevallen (nr. 3, 44 en 45) wordt in deze kolom verwezen naar waarnemingen in vroegere jaren; in enkele gevallen duidt een vraagteken twijfel aan de juistheid aan.

Alle getallen zijn ontleend aan de opgaven in het overzicht, blz. 43-96; de bijzondere kringen, nr. 20-29 hebben betrekking op het tijdvak 1892-1953.

### **Buigingsverschijnselen in vaste stoffen**

Voor de vorming van de krans in ijskristallen zie men blz. 33-35.

Ook bij andere vaste deeltjes dan ijs, welke in de atmosfeer kunnen voorkomen, kan zich een krans vormen. Deze stofdeeltjes moeten uiterst fijn zijn, want de hier bedoelde krans, de ring van Bishop, is zeer wijd.

De *ring van Bishop* is een brede, zwakke, witte of blauwachtig-witte kring om de zon met een roodachtige buitenzoom. De ring strekt zich uit van 20-45° van de zon.

Het verschijnsel is het eerst opgemerkt door Bishop op Honolulu op 5 september 1883. Het werd vervolgens op vele plaatsen gezien tot in het jaar 1886. De oorzaak was toen zonder twijfel gelegen in de uitbarsting van de Krakatau in augustus 1883. Ook na andere vulkanische uitbarstingen is de ring van Bishop te zien geweest (Mont Pelée 1902; Katmai 1912).

De vorming van het rood aan de buitenkant wijst op buiging als oorzaak van deze kring. De grote straal moet worden toegeschreven aan de aanwezigheid van uiterst fijne stofdeeltjes.

Men moet aannemen, dat er bij vulkanische erupties grote massa's buitengewoon fijne as- en stofdeeltjes omhoog worden geschoten, die lange tijd zwevende kunnen blijven in de hoogste lagen van de atmosfeer en zeker boven het niveau van de Cirrus-bewolking, aangezien men Cirrus onder de ring heeft zien passeren. De deeltjes moeten zeer verschillende afmetingen hebben: de binnenste delen van de ring ontstaan door buiging bij de grofste deeltjes (0,002 mm), de buitenste door buiging bij de fijnste (0,001 mm). Men meent ook wel dat de stofdeeltjes afkomstig kunnen zijn van buiten de aarde, o.a. van de zon of van meteoren.

Het verschijnen van de ring van Bishop gaat gepaard met bijzondere schemeringsverschijnselen. De ring van Bishop is, voor zover bekend, in Nederland niet waargenomen. Wel zijn na vulkanische uitbarstingen bijzondere schemeringskleuren opgemerkt (zie het volgende hoofdstuk).

## LITERATUUR

### *Haloverschijnselen*

M. PINKHOF, Bijdrage tot de theorie der haloverschijnselen. Verh. Kon. Ak. v. Wet. Amsterdam, **13**, 1919.

M. PINKHOF, Bijdrage tot de verklaring van samengestelde halo's. Versl. Kon. Ak. v. Wet. Amsterdam, **35**, 739—750, 1926. Proc. **30**, 172—183, 1926.

### 3. *Scheve ring door de zon*

S. W. VISSER, Scheve parhelische ringen. Hemel en Dampkring, **32**, 22—25, 1934.

### 4. *Zuil*

K. STUCHTEY, Untersonnen und Lichtsäulen an Sonne und Mond. Ann. d. Phys. IV, **59**, 33, 1919.

M. PINKHOF, Zur Frage der Erklärung der Lichtsäulen. Met. Z., **43**, 411—416, 1926.

S. W. VISSER, De Zuil. Hemel en Dampkring, **41**, 262—264, 1943.

### 7—9. *Raakbogen*

CHR. HUYGENS, De coronis et parheliis. Oeuvres complètes, publiées par la Société hollandaise des Sciences, XVII, 351—516, 1932.

### 11. *Bogen van Lowitz*

CH. S. HASTINGS, A general theory of halos. Monthly Weather Rev. Washington, **48**, 322—330, 1920.

### 15. *Infralaterale bogen*

S. W. VISSER, Beobachtungen der Berührungsbogen des Halo von 46° auf Java. Met. Z., **42**, 177—181, 1925.

### 20—29. *Kringen met ongewone straal*

W. J. HUMPHREYS, Central unusual halos. Monthly Weather Rev. Washington, **50**, 535—536, 1922.

L. KRASTANOW, Über die Bildung und das Wachstum der Eiskristalle in der Atmosphäre. Met. Z., **60**, 15—26, 1943.

S. W. VISSER, De halo van Hall, een bron van verwarring. Hemel en Dampkring **40**, 307—310, 1942.

### 31. *Raakboog aan ongewone kring*

S. W. VISSER en C. T. J. ALKEMADE, Een bovenraakboog aan de kring van 24½°. Hemel en Dampkring, **52**, 92—95, 1954.

S. W. VISSER and C. T. J. ALKEMADE, A tangent arc of the halo of 24½°. Qu. J. Roy. met. Soc., **82**, 92—96, 1956.



32. *Secundaire kringen*

E. BARKOW. D. Atl. Exped. Witterungsbericht. Abh. Preus. Met. Inst. VII, Nr. 6, 1924.

S. W. VISSER. Over de buiging van het licht bij de vorming van halo's. Versl. Kon. Acad. v. Wet. Amsterdam, **25**, 1328—1351, 1917.

S. W. VISSER. Die Beugung des Lichtes bei der Halobildung. Met. Z., **36**, 33—35, 1919.

34. *Lange scheve bogen*

A. WEGENER. Theorie der Haupthalos. Arch. Deuts. Seew., **43**, Nr. 2, 1925.

G. DE VEER. Vertellinge vande derde Seylagie by noorden om nae de Coninckrijcken van Cathay ende China in den jare duysent vijfhondert ses ende tnegentich. Werken Linschoten-vereeniging XIV, 1917.

35. *Bijtegenzon 82°*

H. TEN KATE. De bijzon van 98°, Hemel en Dampkring, **44**, 106—111, 1946.

36. *Bijtegenzon 60°*

S. W. VISSER. Een buitengewone halodag in Midden-Java, 11 April 1933. Hemel en Dampkring **31**, 289—297; 348—358, 1933. Zie ook Met. Z., **50**, 306—310, 1933.

L. BESSON. Sur la théorie des halos. Thèses Paris, 1919.

44. *De elliptische halo*

S. W. VISSER. De elliptische halo van Hissink. Hemel en Dampkring, **41**, 82—84, 1943.

*Frequenties*

C. VISSER. Frequentie van halowaarnemingen bij de zon in Nederland, voornamelijk van 1914—1931. Diss. Utrecht, 1935. Med. en Verh. K.N.M.I. de Bilt, nr. 37, 1936.

## 6 *Verstrooiing van het licht*

Verstrooiing van het licht (*diffusie*) heeft plaats wanneer dit op uiterst kleine deeltjes – van de grootte der moleculen – valt. De gewone wetten van terugkaatsing, breking en buiging gelden dan niet meer. Het licht wordt nu in alle richtingen verspreid en wel des te sterker naarmate de golflengte kleiner is. De verstrooiing van het licht is omgekeerd evenredig met de vierde macht van de golflengte (Wet van Rayleigh). Dit betekent, dat, wanneer de golflengte twee maal zo klein wordt, de verstrooiing  $2^4$  of 16 maal zo sterk wordt. Het blauw en het violet worden dus vele malen sterker verstrooid dan het rood. Terwijl het rood nog in hoofdzaak rechtlijnig doorgaat, worden blauw en violet bijna geheel zijdelings verspreid. Ziet men dus de lichtbron door een laag van uiterst fijne deeltjes, dan is zij rood gekleurd, omdat de kleuren van korte golflengte door zijwaartse verstrooiing uitvallen. Zo ziet men dus de ondergaande zon rood. Heeft men daarentegen de lichtbron terzijde of achter zich, dan is deze laag blauw gekleurd. Zijn de deeltjes in de laag te grof dan weerkaatsen zij het licht op normale wijze. De rode en blauwe kleuren komen dan niet meer tot ontwikkeling en er treedt een witkleuring voor in de plaats.

### **Het blauw van de hemel**

Ten gevolge van de zijdelingse verstrooiing van het zonlicht in de atmosfeer ziet men de hemel blauw. Ook zeer ver verwijderde bergen ziet men in een heldere atmosfeer blauw. De verstrooiende laag is de atmosfeer tussen de bergen en het oog. De kleur van de hemel en van bergen op grote afstand wordt dieper blauw naarmate de verstrooiende partikeltjes kleiner zijn. Zijn ze te grof, wat in de regel bij de aanwezigheid van waterdruppeltjes het geval is, dan wordt het hemelblauw bleker, de atmosfeer wordt heilig.

### **Schemeringsverschijnselen**

Tot de schemeringsverschijnselen behoren zowel de geleidelijke vermindering van het licht bij de overgang van de dag in nacht als de kleuringen van de hemel, die zich hierbij voordoen. Men moet de verschijnselen bij onbewolkte hemel streng gescheiden houden van die

bij bewolkte hemel. Bewolking brengt belangrijke wijzigingen met zich mede, zowel wat de vermindering van het licht als het optreden van kleuren aangaat. Wij volgen in hoofdzaak de beschouwingen van de Zwitserse onderzoeker Gruner en zullen hierbij de schemeringsverschijnselen bespreken voor zonsondergang. Bij zonsopkomst zijn ze gelijk, maar verlopen in tegengestelde volgorde.

## A. BIJ ONBEWOLKTE HEMEL

### 1. De schemering

De duur van de schemering hangt af van de tijd van het jaar en van de geografische breedte. Men onderscheidt de burgerlijke en de astronomische schemering.

De *burgerlijke schemering* eindigt wanneer de zon  $6^\circ$  beneden de horizon is gedaald. Het is dan zo donker geworden, dat buitenwerk gestaakt moet worden en dat sterren van de eerste grootte zichtbaar worden. De *astronomische schemering* eindigt wanneer de zon  $18^\circ$  beneden de horizon is gedaald, sterren van de zesde grootte komen te zien, de volle nacht treedt in.

De beide tijdstippen worden berekend voor het middelpunt van de ware zon ten opzichte van de astronomische horizon. Men kan correcties aanbrengen voor de afmetingen van de zon en voor de straalbreking, maar dit heeft weinig zin, omdat de schemering volstrekt niet scherp begrensd is.

De duur van beide schemeringen is in de onderstaande tabel voor onze breedten opgegeven, voor het midden van iedere maand.

		Duur van de burgerlijke en astronomische schemering											
		B.S. = burgerlijke schemering; A.S. = astronomische schemering											
		jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
N.B.		h min.	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min
50°	B.S.	36	33	32	33	38	44	42	36	32	30	34	38
	A.S.	1 55 1	49 1	49 2	2 2	42 -	- 3	30 2	16 1	52 1	48 1	52 2	0
52°	B.S.	40	34	34	36	42	49	46	38	35	34	37	40
	A.S.	2 21 1	54 1	54 2	11 3	10 -	- -	- 2	32 1	58 1	52 1	59 2	6
54°	B.S.	42	36	36	39	46	54	50	42	38	36	39	43
	A.S.	2 9 2	0 1	59 2	20 -	- -	- -	- 2	48 2	6 1	56 2	5 2	13

Gedurende een gedeelte van het jaar daalt op breedten hoger dan  $48,5^\circ$  de zon niet beneden  $18^\circ$  onder de horizon. Dan duurt dus de schemering de gehele nacht.

Men kan de begin- en einddata van het tijdvak, waarin de schemering geen einde neemt, berekenen en vindt dan

op $48,5^\circ$ N.B.	21 juni
$50^\circ$	2 juni–12 juli
$52^\circ$	21 mei–24 juli
$54^\circ$	12 mei– 1 augustus

Deze data kunnen van jaar tot jaar een dag verlopen.

De geleidelijke vermindering van het licht na zonsondergang houdt verband met de diffusie van het zonlicht door de atmosfeer. Naarmate de zon bij haar daling een kleiner gedeelte van de dampkring boven de horizon van de waarnemer verlicht, vermindert de hoeveelheid licht, die vandaar tot de waarnemer kan doordringen. Wanneer ten slotte het laatste licht aan de westerkim verdwijnt, neemt de schemering een eind, de nacht vangt aan.

## 2. De schemeringskleuren

De eigenlijke schemeringskleuren – bij onbewolkte hemel – worden ingedeeld als volgt.

### A. Aan de zijde van de zon

1 – *De horizontale gekleurde banden.* Gekleurde banden evenwijdig aan de horizon, en symmetrisch ten opzichte van de zon, soms de gehele horizon omspannend. Hoogte tot  $6-10^\circ$ . Kleuren geel, later oranje tot rood, dikwijls ook groen. Zichtbaar bij zonshoogten van  $+6$  à  $+10^\circ$  tot  $-8$  à  $-12^\circ$ .

Als storing treedt de horizontale stoflaag op, een grauwe zoom langs de horizon, die de kleuren dof maakt.

2 – *Het heldere lichtschijnsel om de zon.* Rondom de zon als uitgebreide, sterk lichte zone, helder wit of zwak gekleurd (groen tot blauw). Zichtbaar bij zonshoogten tot  $-6^\circ$ . Dit lichtschijnsel kan zich uitbreiden tot  $50^\circ$  hoogte en wordt soms begrensd door een bruine rand. Daalt de zon beneden de horizon, dan neemt de hoogte van het lichtschijnsel snel af. Staat de zon ongeveer  $4^\circ$  onder de horizon, dan is de hoogte niet meer dan  $10^\circ$ .

3 – *Het eerste schemeringspurper.* Lichtschijnsel van snel veranderlijke en onscherp begrensde vorm; steeds rose, purper of violet, nooit blauw of groen. Zichtbaar bij zonshoogten van  $-2$  à  $-3^\circ$  tot  $-6^\circ$ . Het

avondpurper gaat onder bij het einde van de burgerlijke schemering. Het purper breidt zich uit tot  $40^\circ$  hoogte, zijn grootste sterkte ligt op  $15-20^\circ$ . Het kan bij de zon op  $4-5^\circ$  diep zo sterk worden, dat huizen op het westen in een rode gloed baden.

4 – *Het tweede schemeringspurper*. Een herhaling van het eerste; op geringere hoogte, onscherper en minder uitgebreid; lichtzwak en weinig gekleurd. Wordt zichtbaar bij zonshoogten van  $-7$  à  $-8^\circ$ ; maximaal bij  $-9^\circ$ .

5 – *Het schemeringsschijnsel*. Bij diepstaande zon ( $-6$  tot  $-18^\circ$ ); van boven scherp tegen de donkere nachthemel begrensd, van onder door de laatste resten van het lichtschijnsel (nr. 2). De bovenste grens is de het zenit gepasseerde aardschaduw (zie nr. 7). Het schemeringsschijnsel gaat onder bij het einde van de astronomische schemering. Het breidt zich tot  $20^\circ$  hoogte uit, als de zon tot  $7^\circ$  onder de horizon is gedaald, tot  $4^\circ$  als een groenblauw schijnsel, wanneer de zon tot  $12^\circ$  diepte is gekomen.

## B. Tegenover de zon

6 – *De bovenste tegenschemering*. Horizontale banden tegenover de zon sterker gekleurd dan elders: rood, violet en purper, ook vaak groen en wit; hun gedaante is min of meer segmentvormig. Zichtbaar bij zonshoogten van  $+5$  à  $+10^\circ$  tot  $-4$  à  $-5^\circ$ .

De tegenschemering rijst hoger, tot  $12^\circ$  toe, wordt lichtsterker en kleurrijker naarmate de zon daalt. Staat de zon  $1-2^\circ$  onder de horizon, dan is de tegenschemering in de laagste delen violet tot rood, daarboven oranje, geel en groen. Daalt de zon verder, tot  $3^\circ$  onder de horizon, dan komt de bovenste tegenschemering tot volle ontwikkeling.

7 – *De aardschaduw*. Een grauw segment, soms een weinig groen of violet gekleurd, dat boven de oostelijke kom opkomt, wanneer de zon ondergaat. De aardschaduw rijst sneller op dan de zon daalt, passeert omstreeks het einde van de burgerlijke schemering het zenit en daalt dan naar het westen, waar hij de bovenste grens van het schemeringsschijnsel vormt.

8 – *De onderste tegenschemering*. Als de bovenste, maar in alle opzichten vager. Zonshoogte  $-3$  tot  $-6^\circ$ .

9 – *De tweede aardschaduw*. In de onderste tegenschemering, maar veel onduidelijker dan de voorafgaande aardschaduw. Zonshoogte  $-6$  tot  $-8^\circ$ .

Nr. 4, 8 en 9 zijn op te vatten als herhaling van 3, 6 en 7 als gevolg

van het licht, uitgezonden door het eerste avondpurper. Zij komen alleen tot stand, indien dit licht bijzonder sterk is.

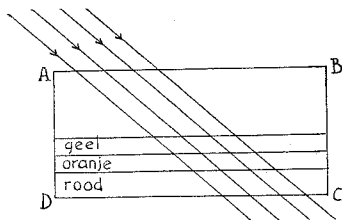
De schemeringskleuren worden intensief tijdens optische storingen, vooral na vulkanische uitbarstingen. Zij werden buitengewoon sterk na de eruptie van Krakatau in augustus 1883 en duurden tot in 1886 voort. In het bijzonder werd het purper geweldig krachtig. Men nam het waar als een onheilspellende vuurrode gloed.

Dergelijke bijzondere schemeringsverschijnselen werden ook opgemerkt in ons land bij de volgende uitbarstingen:

Uitbarsting	Eerste waarnemingsnacht
Krakatau (26–27 augustus 1883)	26–28 november 1883
Mont Pelée (8 mei 1902)	28 oktober 1902
Katmai (Alaska) (juni 1912)	22 juni 1912

Ook na de val van de meteoriet in Siberië in de vroege morgen van 30 juni 1908 kwamen in ons land in de nacht van 30 juni op 1 juli merkwaardige schemeringsverschijnselen voor. Hiervan geeft Plaat VII naar een foto van C. L. de Veer te Haarlem een beeld.

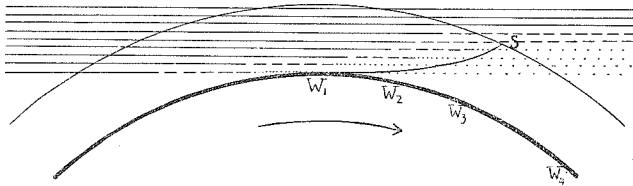
De schemeringskleuren ontstaan door de verstrooiing (diffusie) van het licht bij laagstaande zon. Dan immers doorlopen de lichtstralen een zeer lange weg door de dampkring. Bij geschikte afmetingen van de stofdeeltjes kan de verstrooiing zeer sterk worden en de kleur krachtig tot ontwikkeling komen. Dringt een lichtbundel door in een laag ABCD (fig. 62), dan zullen de lichtstralen, naarmate ze dieper



Figuur 62.  
Kleuring van een lichtbundel door diffusie.

doordringen, meer en meer worden uitgedoofd en tegelijk roder worden. Het doorvallende licht wordt langzamerhand geel, oranje, rood, terwijl de lichtsterkte afneemt en tenslotte nul wordt. Men kan dus lagen aangeven, waarin het licht achtereenvolgens geel, oranje, rood gekleurd wordt.

Fig. 63 geeft een zeer schematische voorstelling van wat er in de dampkring gebeurt. Evenwijdig zonlicht valt van links in. De aarde wentelt in de richting van de pijl. Een waarnemer bevindt zich achtereenvolgens op de plaatsen  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  en  $W_4$ . De optredende kleuren zijn als volgt aangegeven: wit door getrokken lijnen, geel door strepen, rood door stippen. Afnemende intensiteit is in het rood aangeduid door toenemende afstanden tussen de stippen. Op zeer grote hoogte, waar de atmosfeer zeer ijl is, treedt nauwelijks diffusie op, maar met afnemende hoogte neemt niet alleen de lengte van de in de atmosfeer doorlopen weg sterk toe, maar ook de dichtheid van de dampkring en deze beide feiten bevorderen zeer sterk de diffusie.

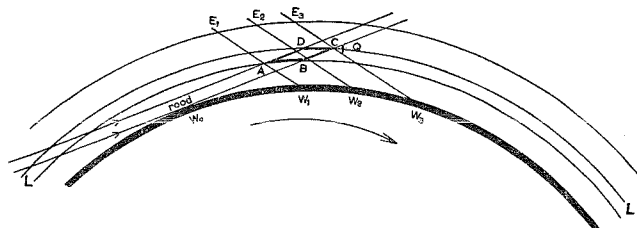


Figuur 63. Diffusie en kleuring van het zonlicht in de dampkring.

Wat de waarnemer zal zien, hangt af van zijn plaats ten opzichte van de zon en van de richting waarin hij kijkt. In  $W_1$  ziet hij de juist ondergaande zon rood; het grootste deel van de hemel is nog normaal verlicht, maar langs de horizon, waar alleen licht van de onderste lagen zijn oog kan bereiken, overheersen geel en rood. Langs de horizon ziet hij dus de *gekleurde horizontale banden*. Tegenover de zon moet de kleuring het sterkst zijn, omdat de hier afgelegde weg maximaal wordt en bovendien het teruggeworpen licht nog verder gediffundeerd wordt. Zo ontstaat de *tegenschemering*. Zeer intensief kan deze niet worden, omdat ook de uitdoving maximaal wordt. Het is mogelijk, dat geen enkele lichtstraal meer tot de waarnemer kan doordringen. Het donkere gebied wordt ruwweg begrensd door de lijn  $W_1S$  en hierdoor wordt de *aardschaduw* bepaald. Men vindt de richting hiervan door van de standplaats (bijvoorbeeld  $W_2$ ) een raaklijn aan  $W_1S$  te trekken. Voor de waarnemer in  $W_3$  moet de aardschaduw het zenit passeren, maar dit moment is niet of nauwelijks vast te stellen, omdat de grens veel te vaag wordt. Bevindt de waarnemer zich in  $W_4$  en verder, dan ziet hij het *schemeringsschijnsel* in het westen, begrensd door de aardschaduw, die het zenit gepasseerd is, tot bij een zonshoogte van  $-18^\circ$  het laatste licht verdwijnt.

De theorie van de aardschaduw is moeilijk. Het moet mogelijk zijn uit de richting van de aardschaduw de hoogte van de verstrooiende laag te bepalen, maar men is tot nu toe slechts tot het vermoeden gekomen, dat de atmosfeer tot 8 km hoogte minder doorlaatbaar is dan daarboven en dat op grotere hoogte de doorlaatbaarheid tamelijk snel toeneemt.

Het *schemeringspurper* kan alleen voorkomen wanneer in de dampkring een storende laag van betrekkelijk grove deeltjes aanwezig is, waar het reeds door diffusie rood gekleurde zonlicht doorheenvalt. De hiervoor vereiste deeltjes zijn zo klein, dat zij niet voor het blote oog zichtbaar zijn, maar toch zo groot, dat de verstrooiingswet niet meer geldt. De diffusie heeft op dergelijke grove deeltjes niet in alle richtingen plaats, maar bijna uitsluitend naar voren over een hoek  $Q$  die toeneemt naarmate de deeltjes kleiner zijn. In figuur 64 stelt LL de storingslaag voor. Het in overmaat rood gekleurde schemeringslicht valt binnen  $A B C D$  door deze laag heen en wordt verstrooid, maar niet over een grotere hoek dan  $Q$ .



Figuur 64. De diffusie in een storende laag en het ontstaan van het purper.

Het purper begint zich in  $W_1$  aan de waarnemer te vertonen als een uiterst zwakke roodkleuring van het hemellicht, bereikt zijn maximum wanneer de waarnemer in  $W_2$  is aangekomen en verdwijnt bij  $W_3$ . Tussen het punt  $W_0$ , waar de zon ondergaat, en  $W_1$  is aan de oostelijke hemel geen purper te zien; er wordt in achterwaartse richting geen licht verstrooid en dit bewijst, dat de laag uit grove deeltjes moet bestaan.

De waarnemer ziet niet alleen het licht dat afkomstig is van de storende laag, maar tevens al het licht, dat verstrooid wordt over de gehele dikte van de dampkring in de richting waarin hij kijkt. Al dit licht is min of meer gekleurd en de kleurindruk wordt bepaald door de sommatie van alle kleuren. Voor iedere blikrichting wijzigt zich het kleureffect



en het resultaat is een min of meer boogvormige zone boven de zon in een mengkleur, die van rose tot fel purper kan variëren.

Het is vooral na vulkanische erupties, dat zo'n storende laag van as en andere stofdeeltjes tot stand komt, vaak met de ring van Bishop (blz. 99).

### B. BIJ BEWOLKTE HEMEL

Slechts zelden komen de schemeringskleuren in ons land tot ontwikkeling op de hierboven geschetste wijze. Wolken en heiligheid beletten in de regel de totstandkoming. De eerste kleuring van de wolken treedt in het oosten op wanneer de zon nog ongeveer  $5^\circ$  hoog staat, in tere roserode tinten. De wolken kunnen in een gloeiend rood gaan stralen ook zonder dat de schemeringskleuren zich volledig ontwikkelen. De wolk wordt belicht door rood zonlicht en het door de wolk teruggekaatste licht wordt nog verder verstrooid en steeds roder. Deze fraaie en vaak fel rood gekleurde wolken zijn, althans in ons land, veel opvallender dan de eigenlijke schemeringskleuren van de onbewolkte hemel.

De verklaring is na het voorafgaande eenvoudig. De wolken hangen gewoonlijk op betrekkelijk laag niveau in de boven besproken rode zone. De zeer grote wolkendeeltjes kaatsen het opvallende licht eenvoudig terug. Het teruggekaatste licht wordt nog verder verstrooid en hierdoor wordt het kleureffect nog vergroot.

### 3. Schemeringsbundels

Meermalen ziet men in de schemering bij onbewolkte hemel lichtbundels aan de hemel die van de zon uitstralen. Soms komen zij in één punt recht tegenover de zon weer samen.

Het zijn evenwijdige lichtbundels aan de hemel, die hun ontstaan danken aan openingen tussen de wolken waardoorheen het zonlicht schijnt. Zij lijken door perspectivische werking in één punt (in de zon of haar tegenpunt) samen te komen, evenals men opmerkt bij de rails van de spoorbaan. De schemeringsbundels vertonen vaak kleuren. De donkere banden, soms door contrastwerking groen gekleurd, zijn schaduwen, geworpen door wolken of bergtoppen achter de horizon. Men heeft o.a. de schaduw van de Pic du Midi in Frankrijk tot 114 km afstand kunnen opmerken.

Wolken aan de zonzijde kunnen schaduwen werpen en hierdoor kunnen donkere en roodgekleurde bundels op het wolkendeel gevormd worden, die men wel moet onderscheiden van de schemeringsbundels, die bij onbewolkte hemel in het purper ontstaan.

#### 4. Alpengloed

De *alpengloed* – de felle roodkleuring van gletsjers en sneeuwvelden in het hooggebergte – is geheel analoog aan het verschijnsel van de gekleurde wolken. De kleurontwikkeling wordt sterk bevorderd door de krachtige terugkaatsing van het licht door de sneeuw, terwijl dit licht zelf reeds fel rood gekleurd is, omdat de bergtoppen, evenals de wolken, in de onderste luchtlagen uitsteken, waar de diffusie het grootste is.

Een tweede en zelfs een derde alpengloed worden soms waargenomen ten gevolge van de beschijning van de sneeuw door het eerste en het tweede schemeringspurper.

#### 5. Paarlemoerwolken

Soms ziet men in de late schemering wolken, die op Cirrus of Altopcumulus lenticularis lijken en die een sterke irisatie vertonen. Ze staan daarom als *paarlemoerwolken* bekend. De fraaiste kleuren worden waargenomen, wanneer de zon verscheiden graden onder de horizon staat. Zij zijn zeldzaam en schijnen alleen in bepaalde streken voor te komen (Schotland, Scandinavië, Frankrijk, Alaska). Ze liggen in Zuid-Noorwegen volgens Störmer op een hoogte van 21 tot 30 km. Hun samenstelling is onbekend. De buigingskleuren in min of meer regelmatige opeenvolging wijzen op de aanwezigheid van zeer kleine deeltjes. Het is mogelijk, dat dit waterdruppels of ijsbolletjes zijn.

Voor hun waarneming is een goed doorzichtige atmosfeer en afwezigheid van maneschijn noodzakelijk. In ons land zijn enkele malen „zilverwitte wolken” gemeld, die waarschijnlijk tot deze bewolking gerekend mogen worden.

#### 6. Lichtende nachtwolken

Wolken, gelijkende op ijle Cirrus, maar gewoonlijk blauwachtig of zilverachtig, ook wel van oranje tot rood, zijn soms gezien tegen de donkere nachthemel. Ze zijn alleen 's zomers waargenomen in de noordelijke delen van de gematigde luchtstreek, terwijl de zon 5 tot 13° onder de horizon stond. Hun hoogte loopt uiteen van 75 tot 90 km. Mogelijk bestaan ze uit kosmisch stof.

#### LITERATUUR

P. GRUNER und H. KLEINERT. Die Dämmerungserscheinungen. Probl. Kosm. Phys. X, 1927.

P. GRUNER. Neueste Dämmerungsforschungen. Ergebn. Kosm. Phys. III, 1938, 113—154.

M. MINNAERT. De Natuurkunde van het Vrije Veld, Deel I.

C. STÖRMER. Height and velocity of luminous night clouds observed in Norway, 1932. Publ. nr. 6, Univ. Observ., Oslo, 1932.

E. H. VESTINE. Noctilucent Clouds. J. Roy. Astr. Soc. Canada, 249—272, 303—317, 1934.

## 7 *Elektrische lichtverschijnselen*

### **Poollicht**

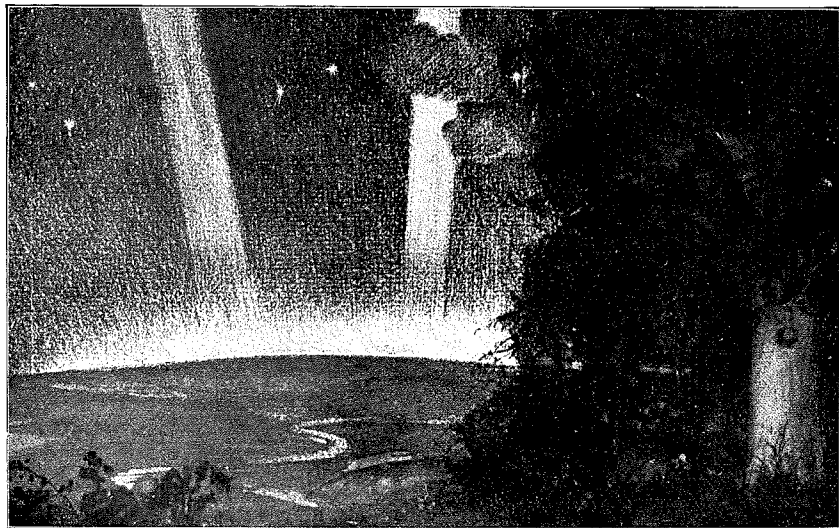
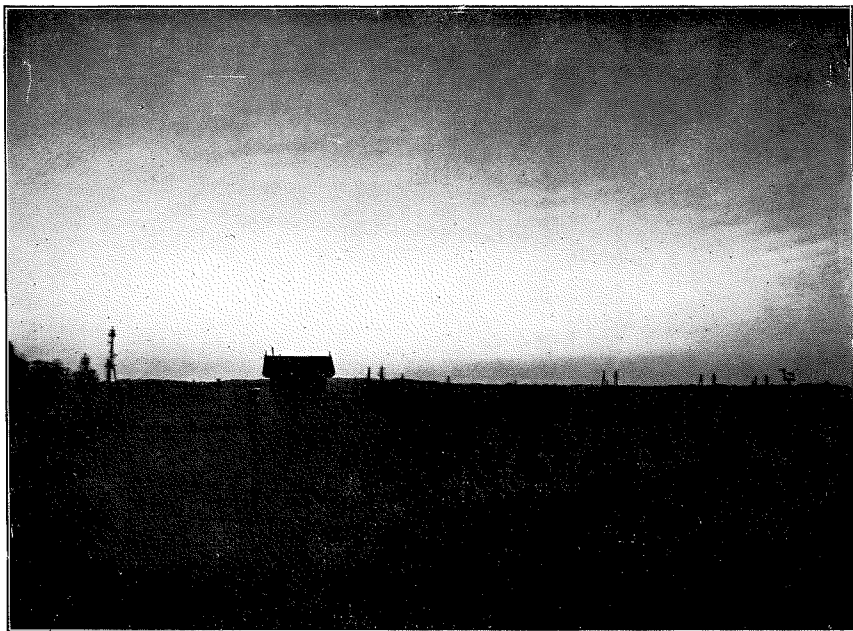
#### VORMEN VAN HET POOLLICHT

#### INTERNATIONALE CLASSIFICATIE

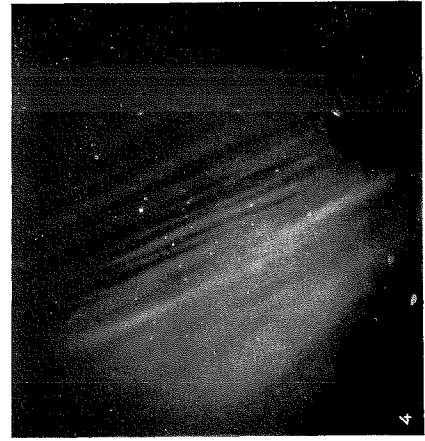
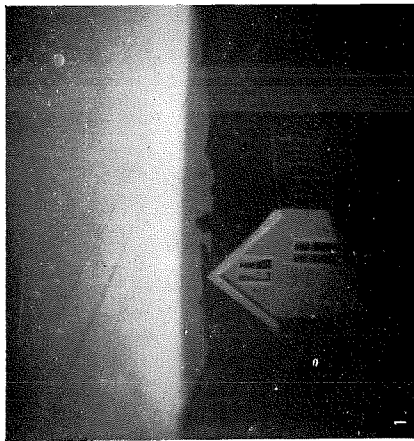
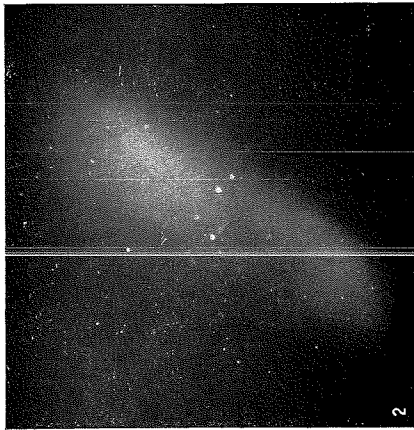
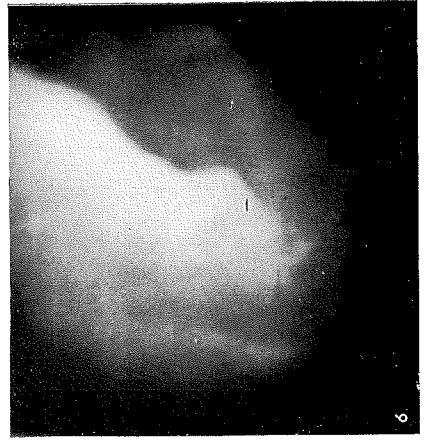
Onder *poollicht* verstaat men een grote verscheidenheid van lichtverschijnselen, die op het noordelijk halfrond in de regel aan de noordelijke hemel gebonden zijn en daarom meestal *noorderlicht* worden genoemd. Het kan hier echter ook in andere hemelstreken voorkomen. Op het zuidelijk halfrond komt het voor aan de zuidelijke hemel. De algemene naam poollicht verdient de voorkeur.

In de meeste gevallen is de lichtsterkte gering. Het poollicht doet vaak denken aan de late avondschemering boven de horizon; het is dikwijls niet sterker dan de Melkweg en wordt dan alleen zichtbaar omdat elders de hemel langs de kim donkerder is dan in de richting der pool. Het licht kan zo sterk worden, dat het schaduwen werpt en dat de gevels der huizen verlicht worden. Het kan het maanlicht overstralen, zelfs zichtbaar worden in het volle daglicht. Vaak bestaat het poollicht uit een egaal schijnsel, maar het kan ook grote verschillen in intensiteit vertonen. Dikwijls is het licht volkomen rustig, maar ook kan de lichtsterkte enorm variëren. De variaties kunnen elkaar in snel tempo opvolgen en dan maakt het de indruk van trillingen, van lichtgolven of van vlammen. Er kunnen stralen uitschieten die tot grote hoogte opstijgen. In verreweg de meeste gevallen is het lichtverschijnsel wit met groene of geelgroene nuancering en overgangen naar blauw. Soms is het poollicht rood tot purper. Vaak wisselen de kleuren af en komen verschillende kleuren gelijktijdig voor.

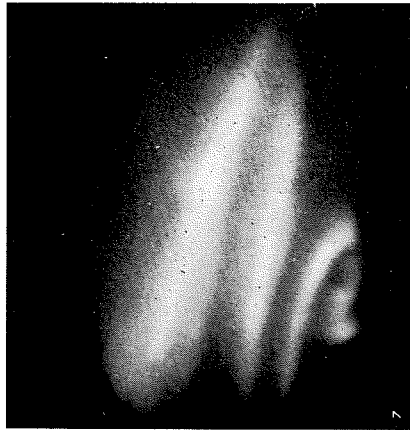
Men onderscheidt in de grote rijkdom van vormen twaalf hoofdvormen volgens internationale classificatie. Men bedenke dat de verschillende vormen niet scherp bepaald zijn maar in elkander overgaan. Zij kunnen tegelijkertijd verschijnen. In de onderstaande beschrijvingen verwijzen de vetgedrukte cijfers naar de figuren op de platen VIII-X. De aangenomen symbolen zijn ontleend aan het Engels. De internationale omschrijvingen zijn als volgt.



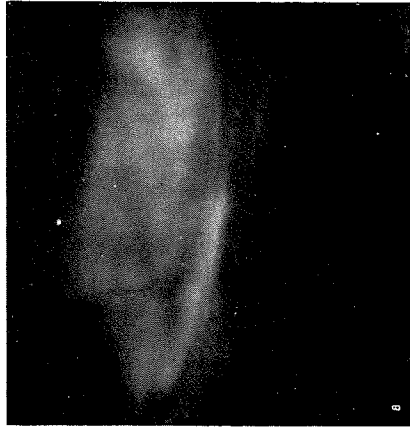
Plaat VII. Schemeringsverschijnsel in de avond van 30 juni 1908. *Foto De Veer.*  
Noorderlicht in de avond van 15 november 1905. *Tekening van F. Hopman.*



Plaat VIII. Poollicht 1-5: Gelijkmatige rustige bogen; 6: Gelijkmatige banden *Fotogr. Atlas van poollichtvormen*



7



8



9



10



11



12

Plaat IX. 7: Gelijkmatige banden; 8: Diffuse lichtvlakken; 9: Pulserende vlakken; 10: Bogen met stralenstructuur; 11—12: Banden met stralenstructuur.  
*Fotogr. Atlas van Poollichtvormen.*

verschijnen na sterke ontwikkeling van stralen of gordijnen. Soms worden grote stukken van de hemel gekleurd door diffuus violet of rood licht.

*Pulserende vlakken (P.S. pulsating surfaces)*

Diffuse plekken verschijnen en verdwijnen ritmisch op dezelfde plaats met een periode van verscheidene seconden, terwijl ze voortdurend dezelfde onregelmatige vorm behouden (9). Liggen de plekken dicht bij het *magnetisch zenit* (zie toelichting) dan kunnen de omtrekken scherper zijn. Deze vormen komen dikwijls met vlammend poollicht (F.) voor.

*Zwakke gloed (G. feeble glow)*

Bij de horizon, op schemering gelijkend, wit of roodachtig gekleurd. Deze vorm is dikwijls het bovenste gedeelte van een boog waarvan de onderste grens onder de horizon ligt.

II. *Vormen met stralenstructuur*

*Bogen met stralenstructuur (R.A. arcs with ray-structure)*

Een gelijkmatige boog, die lange tijd rustig en onveranderd is gebleven, kan scherp en lichtend worden langs de onderste rand en dan zeer snel in een boog van stralen veranderen. De stralen kunnen kort of lang zijn (10). Zie ook Plaat VII.

*Banden met stralenstructuur (R.B. bands with ray-structure)*

Zij gelijken op de gelijkmatige banden (H.B.) maar zijn samengesteld uit een reeks van stralen die dichtbij elkaar langs de band kunnen zijn gerangschikt (11) of meer verspreid (12). Dichtbij het magnetisch zenit kunnen ze de vorm van de kroon (C.) aannemen.

*Draperieën (D. draperies)*

Worden de stralen zeer lang, dan lijkt de band een gordijn of draperie waarvan de onderste rand vaak het meeste licht geeft (Plaat X, 13). Verscheiden evenwijdige draperieën komen dikwijls tegelijk voor. Bij het magnetisch zenit kan de draperie er ten gevolge van de perspectief waaivormig uitzien (14).

*Stralen (R. rays)*

De stralen kunnen afzonderlijk voorkomen (15), smal of breed, kort of lang zijn. Ze kunnen in grote bundels of in groot aantal verschijnen (16) en dikwijls op gordijnen lijken.



### *Kroon (C. corona)*

Wanneer de stralen het magnetisch zenit naderen, schijnen zij wegens de perspectief in dit punt samen te komen en vormen zodoende de kroon. Deze kan gevormd worden door lange of korte stralen (17), volledig of onvolledig zijn: er kan b.v. slechts een halve kroon ontwikkeld zijn (18). De kroon kan ook gevormd worden door banden of draperieën bij het magnetisch zenit.

### III. *Vlammend poollicht*

*Vlammend poollicht (F. flaming aurora)* is een karakteristieke snel bewegende vorm, bestaande uit sterke lichtgolven, die de een na de ander snel opwaarts gaan in de richting van het magnetisch zenit. De golven kunnen de vorm hebben van losse bogen die zich omhoog bewegen loodrecht op de richting der bogen, of zij kunnen vergeleken worden met onzichtbare golven, die bij hun voorbijgaan brede stralen en vlakken doen lichten, welke dan ritmisch verschijnen en verdwijnen. Deze vorm verschijnt dikwijls na krachtige ontwikkeling van stralen en gordijnen en wordt vaak gevolgd door de kroon.

### **Toelichtingen**

Het *donkere segment* ontstaat geheel door contrastwerking tegen de sterk lichtende onderrand van de boog.

*Het magnetische zenit.* Evenals het zenit bepaald wordt door de richting van de zwaartekracht, wordt het magnetische zenit bepaald door de richting van de aardmagnetische kracht. Het is het punt aan de hemel waarheen de zuidpool van de vrij opgehangen magneetnaald wijst. Dit punt heeft in Nederland tegenwoordig een azimut van S 6° E (6° beoosten het zuiden) en een hoogte van 67° boven de horizon. Het middelpunt van de corona wijkt meestal enkele graden van het magnetische zenit af, omdat tijdens het poollicht het aardmagneetveld sterk gestoord is.

Uit hoogtemetingen is gebleken, dat de bogen zich als regel vormen op ruim 100 km hoogte, soms slechts op 70 tot 80 km; ook de stralen dringen tot 100 km door, maar ze reiken tot enige honderden kilometers, soms tot 1000 à 1100 km. Zij volgen de richting van de magnetische inclinatie, vandaar dat ze perspectivisch in de omgeving van het magnetische zenit samenkomen.

Het poollicht komt het meest voor in twee gordels op 23° van de *geomagnetische aspunten*, de ene op het noordelijk, de andere op het zuidelijk halfrond. Wat deze aspunten betreft, men kan het geomag-

netische veld toeschrijven aan een krachtige magnetische dipool op korte afstand van het middelpunt der aarde. De richting van deze dipool, de *geomagnetische as* kruist de aardas en snijdt het aardoppervlak in twee punten, de aspunten, op het noordelijk halfrond op  $80^{\circ}$  NB en  $83^{\circ}$  WL, op het zuidelijk halfrond op  $76^{\circ}$  ZB en  $212^{\circ}$  OL. Deze aspunten vallen niet samen met de magnetische polen: het aspunt ligt op ons halfrond NNW van Thule (NW-Groenland), de pool op  $73^{\circ}$  NB en  $100^{\circ}$  WL, op het eiland Prince of Wales.

De poollichtgordel heeft het aspunt tot middelpunt, niet de pool! De poollichten breiden zich in Noord-Amerika veel zuidelijker uit dan in Siberië.

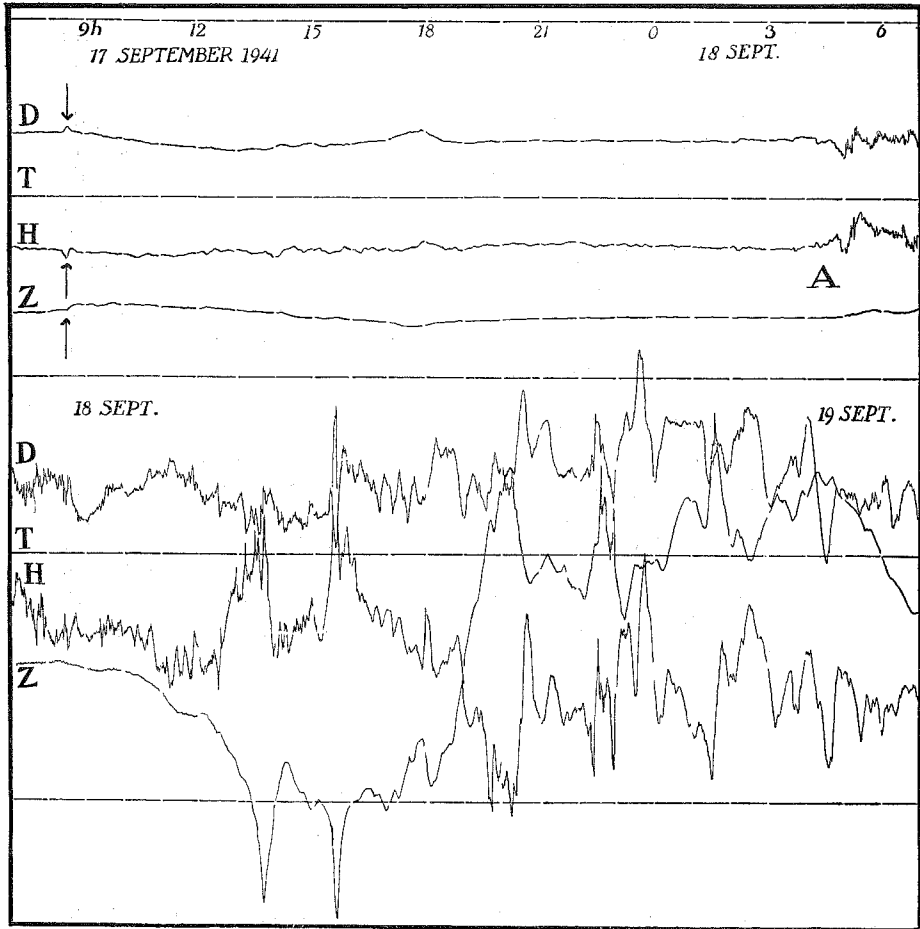
Het zijn door de zon tijdens krachtige erupties uitgestoten deeltjes, die het poollicht opwekken. Deze deeltjes hebben een snelheid tussen 500 en 2000 km per sec. Ze moeten in staat zijn tot op 100 km boven het aardoppervlak in de dampkring door te dringen en tevens zich te manifesteren in de poollichtgordels. De ervaring leert, dat op grond van de hoogte en van de ligging der gordels, het hoogst waarschijnlijk is, dat de deeltjes, die het poollicht opwekken, voornamelijk waterstof-ionen zijn. Men heeft in het poollichtspectrum waterstofgas kunnen aantonen, dat van de zon afkomstig moet zijn.

De elektrisch geladen deeltjes, die het poollicht opwekken veroorzaken bij het binnendringen in de atmosfeer bovendien storingen in het radioverkeer, vooral op de korte golf (beneden 100 m) en in het aardmagnetisme. Als gevolg van de aardmagnetische storingen kunnen inductiestromen optreden in lange elektrische leidingen (storingen in het telefoon- en telegraafverkeer). Dit verschijnsel komt in Nederland niet voor.

Fig. 65 geeft de registratie van een magnetische storing tijdens poollicht zoals deze door de aardmagnetische instrumenten wordt geregistreerd. Men noemt zo'n storing een *magnetische storm*. Men treft in de figuur de volgende lijnen aan:

- D. de declinatie (de afwijking van de magneetnaald van het geografische noorden);
- T. de tijdlijn, waarop de hiaten de uurseinen zijn;
- H. de horizontale intensiteit (de horizontale component van de aardmagnetische kracht);
- Z. de verticale intensiteit (de verticale component).

Bij de bovengenoemde erupties op de zon wordt tegelijk met een gasmassa een grote hoeveelheid ultraviolet licht uitgezonden. Dit ultraviolet bereikt met de snelheid van het licht de atmosfeer van de aarde



Figuur 65. Magnetische storm van 17 en 18 september 1941.

na 8 minuten en veroorzaakt dikwijls een karakteristieke storing in het radioverkeer op alle golflengten (Dellinger-effect). Tevens wordt soms een kleine aardmagnetische storing (solar flare-effect) geregistreerd. In fig. 65 is dit moment bij de pijlen aangegeven. Ongeveer een dag later (bij A) wordt de atmosfeer getroffen door de gaswolk, vermoedelijk een mengsel van ionen (waterstof en ook andere elementen) en electronen, en dan begint met een plotselinge inzet de magnetische

storm. Uit het tijdsverschil tussen het Dellinger-effect en de storm volgt in dit geval de snelheid van 2000 km per sec van de uitgestoten deeltjes.

Het poollicht treedt op in de hoogste lagen van de dampkring, de *ionosfeer*, zo genoemd omdat de aardse gassen er voornamelijk in geïoniseerde toestand voorkomen. Uit het poollichtspectrum volgt de aard van deze gassen. De atoomfysici zijn erin geslaagd het spectrum van het poollicht in hoofdzaak te verklaren. De gassen, waarin het poollicht ontstaat, zijn voornamelijk zuurstof (het neutrale zuurstof-atoom, waaraan o.a. de zeer opvallende groene kleur is toe te schrijven) en stikstof (zowel het neutrale molecuul als het atoom, neutraal of geïoniseerd). Men trekt hieruit de conclusie, dat de atmosfeer tot in de allerhoogste lagen voornamelijk uit zuurstof en stikstof bestaat.

### *Waarnemingen in Nederland*

Uit de ligging van de poollichtgordel (over het noorden van IJsland en de Noordkaap) volgt, dat het poollicht in ons land voornamelijk in het noorden gezien wordt. Het wordt zeldzaam maar vrij geregeld waargenomen; van 1918–1953 gemiddeld op 7 dagen per jaar. Het verschijnsel vertoont over het algemeen niet de verscheidenheid van de internationale klassificatie. Toch komen de verschillende hoofdvormen alle voor. In de jaren 1918–1953 werden op 255 poollichtdagen de hoofdvormen in de volgende aantallen gerapporteerd:

#### I. Vormen zonder stralen

H.A.	H.B.	P.A.	D.S.	P.S.	G.
52	6	8	48	13	63

#### II. Vormen met stralen

R.A.	R.B.	D.	R.	C.	F.
79	2	12	49	3	3

#### III. Vlammeend

Een groot aantal vormen werd opgemerkt bij het grote poollicht van 25 januari 1938 (H.A.; D.S.; P.S.; G.; R.A.; D.; C. en F.). Precies elf jaar later, 25 januari 1949, nam men tien vormen waar: H.A.; H.B.; P.A.; D.S.; G.; R.A.; R.B.; D.; R. en F.

De 95 waarnemingsdagen in de 13 jaren 1941–1953 vertonen duidelijk de jaarlijkse gang met twee toppen, die karakteristiek is voor de gematigde gewesten en die ook reeds tevoren in de Nederlandse waarnemingen is vastgesteld:

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
8	7	15	7	2	1	5	8	17	15	6	4

## Lichtende nachthemel

Enkele malen blijft het 's nachts, ook bij totale afwezigheid van de maan, opvallend helder. Er is ongewoon ver zicht, de hemel is met een licht waas egaal overtrokken, dat de Melkweg en de zwakke sterren kan overstralen. Soms is het licht niet egaal maar merkt men stralen op, die de gehele hemel kunnen omspannen. Dit is de *lichtende nachthemel*. Het verschijnsel kan enige avonden aanhouden.

Het licht vertoont enkele karakteristieke eigenschappen van het poollicht. Men heeft het daarom wel beschouwd als een bijzondere vorm ervan. Het onderscheidt zich voornamelijk door de egale en rustige uitbreiding over de hemel en het ontbreken van magnetische storingen. Het komt in bepaalde tijden van het jaar veelvuldig voor en hangt waarschijnlijk samen met sterrenregens die juist op die tijden jaarlijks terugkeren.

Geheel verklaard is dit verschijnsel nog niet.

## Sint-elmusvuur

Hoewel het Sint-elmusvuur strikt genomen geen optisch verschijnsel aan de hemel is, moge het hier besproken worden.

Het Sint-elmusvuur bestaat uit een zwak lichtschijnsel, gewoonlijk gevormd door lichtpluimpjes, op uitstekende voorwerpen als masten, vlaggestokken e.d. De lichtstralen kunnen enige centimeters lang worden. Vaak is het Sint-elmusvuur beweeglijk; men ziet vlammetjes voortschieten of dansen. De kleur is wit, soms roodachtig, blauw of violet. Het wordt soms door geknetter of geruis vergezeld. Men heeft het lichtverschijnsel ook gezien aan de vingertoppen en andere uitstekende lichaamsdelen. Men heeft daarbij een prikkelend gevoel in de huid. Deze lichtverschijnselen zijn steeds van zeer onschuldig karakter.

Het Sint-elmusvuur treedt in de regel op bij laaghangende bewolking, vaak bij hagelbuien en sneeuwstormen.

Het Sint-elmusvuur wordt veroorzaakt door die elektrische ontladingen welke men „glimontlading” noemt. Het kan ontstaan wanneer het luchtElektrische veld een waarde van enkele tienduizenden Volts per cm bereikt en de stroomsterkte groter wordt dan 0,0001 Ampère per cm<sup>2</sup>. Men onderscheidt positieve en negatieve ontladingen. Soms is de aarde positief, soms negatief; de andere elektrode ligt in de geladen wolkendeeltjes. Dikwijls verandert het Sint-elmusvuur in korte tijd meermalen van teken.

*Positieve ontladingen* verschijnen in de vorm van gesteelde lichtpluimpjes met fijne stralen die wijd uiteen wijken (meer dan 90°) en

enige centimeters lang kunnen zijn. *Negatieve ontladingen* zetelen op een lichtend puntje; ze zijn van veel teerdere structuur, zodat de enkele stralen niet te onderscheiden zijn. De lichtpluimpjes zijn steeds kleiner dan 1 cm en wijken weinig uiteen (minder dan  $45^\circ$ ).

#### LITERATUUR

S. CHAPMAN and J. BARTELS. *Geomagnetism*. Oxford 1940.

L. HARANG. *Das Polarlicht*. Leipzig 1940.

J. VELDKAMP. *Aardmagnetisme en poollicht*. *Servire's Encyclopaedie*, Den Haag, 1949.

H. TEN KATE. *Sint-elmusvuur*. *Hemel en Dampkring*, **50**, 1—3, 1952.

## 8 *Optische verschijnselen en het weer*

In de Inleiding citeerden we een bekend weerrijmpje, waaruit de slechte naam van de kring om de zon blijkt. De lichtverschijnselen aan de hemel gelden algemeen als voorboden van louter kwaad. De enige kleurenboog, die een onverdeeld gunstige naam heeft, is de regenboog. Hier is het verband met de regen zo duidelijk, dat de regenboog steeds en overal ter wereld als een goed voorteken geldt, regen en vruchtbaarheid aankondigend.

Nog steeds schrijft men waarde aan de schemeringskleuren toe. Het geeft te denken, dat in een klein land als het onze zowel geldt:

*Avondrood, mooi weer aan boord;*

*Morgenrood, water in de sloot*

als

*Des avonds 't zonnetje rood,*

*Des morgens water in de sloot*

Alle zeldzame en niet begrepen lichtverschijnselen worden als onge-luksboden beschouwd. Dit gold al voor het poollicht, dat in het tweede Boek der Makkabeeën beschreven wordt (in het jaar 170 v. Chr.):

„Toen bad iedereen, dat het toch niets kwaads mocht beduiden”.

Het gold voor de halo te Kampen in 1610. De beschrijver verdiepte zich in het slechte teken, een waarschuwing aan het zondige volk.

In het aangehaalde „halorijmpje” schuilt een tegenstrijdigheid: het is immers niet goed in te zien waarom de kring om de zon zoveel ge-vaarlijker zou moeten zijn dan die om de maan.

Toch is er enige waarheid in de haloregel: zowel de kring om de zon als die om de maan kan een voorbode voor storm zijn. Wij weten, dat het warmtefront, dat aan storm voorafgaat, zichzelf lang tevoren aankondigt in de bewolking op grote hoogte („windveren”) en juist in deze wolken zijn de voorwaarden voor halovorming aanwezig. Maar wij weten, dat óók in het koufront, dat de warmtesector afsluit, Cirrus voorkomt. Een halo kan evengoed beter weer aankondigen!

Ja, ook bij de stapelwolken, die zich op een warme zomerdag ontwikkelen, kunnen ijskristallen ontstaan, die haloverschijnselen met zich meebrengen, zonder dat er enige aanwijzing bestaat, dat storm op komst is.

De slotsom is, dat de betekenis uiterst gering is en gerust verwaarloosd kan worden.

#### LITERATUUR

E. VAN EVERDINGEN. Volkswijsheid over het weer. De Natuur, januari 1940.



## 9 Aanwijzingen voor waarnemers

Voor de in bovenstaande hoofdstukken beschreven verschijnselen zijn de volgende tekens internationaal vastgesteld:

$\oplus$ kring om de zon	$\cup$ kring om de maan
$\odot$ krans om de zon	$\downarrow$ krans om de maan
$\cap$ regenboog	$\curvearrowright$ poollicht

**Waarnemingen bij de zon** In de omgeving van de zon mogen, om het oog te beschermen, waarnemingen alleen geschieden met een donkere ongekleurde bril of in een zwarte spiegel.

**Waarnemings-tijd** Men geeft de waarnemingstijd zo nauwkeurig als mogelijk is aan; bij samengestelde verschijnselen, zoals kringen met bijzonnen en raakbogen, voor ieder van de waargenomen onderdelen. Voor vele bijzondere verschijnselen is een nauwkeurigheid van 1 minuut zeer wenselijk. Men vergelijk de tijd van zijn klok zo spoedig mogelijk na de waarneming met een precisie-radiotijdsein.

**Plaats-bepalingen** Men vermeldt of de *schattingen van plaats* betrekking hebben op het azimutsverschil tot of op de afstand van de zon. In geval van *verrichte metingen* vermeldt men het gebruikte instrument (theodoliet, sextant, jakobsstaf, enz.) (zie blz. 18).

**Kransen** Berichten over kransen worden alleen ingezonden voor bijzondere gevallen: meervoudige kransen en enkelvoudige met zeer grote straal. De afmetingen moeten zo goed mogelijk vermeld worden in graden of in middellijnen van zon of maan. Opgave van de wolkenvorm, waarin de krans voorkomt, wordt vereist. Bij het gelijktijdig voorkomen van halo's moet men erop letten, of de krans al dan niet in dezelfde wolkenvorm optreedt als de halo.

**Kleuren** Men geeft steeds de kleuren nauwkeurig op, ook hun plaats, b.v. het rood aan de kant van de zon. Men let er in het bijzonder op welke kleuren ontbreken! Ook is het van belang, dat men de onderlinge breedte der

verschillende kleuren noteert. Men dient de uitdrukking „regenboogkleuren” te vermijden en de namen der kleuren afzonderlijk te noemen. Ook wanneer er geen kleuren zijn en het verschijnsel wit is, moet dit worden vermeld. Verschillende onderdelen van een uitgebreide halo hebben niet dezelfde kleuren!

Kleuren rondom de zon kunnen worden waargenomen met een donkere *ongekleurde* bril, of in een zwarte spiegel.

*Zeldzame  
verschijnselen*

Vooraf wanneer men zeldzame verschijnselen waarneemt, moet men alles verrichten wat met de bereikbare middelen mogelijk is om de afmetingen, de vorm, de kleuren, de hoogte en de plaats, alsmede de tijd en de duur vast te stellen. In al dergelijke gevallen is het beslist vereist, dat men er zich van overtuigt niet met bedrieglijke wolkvormen te doen te hebben! Men lette er ook op of de verschillende onderdelen zich in dezelfde wolken vormen of in wolken op verschillend niveau.

*Bewolking*

De waarneming van *wolkvormen*, als afzonderlijk verschijnsel, valt buiten het kader van deze Handleiding; toch is het zeer gewenst bij het berichten van een optisch verschijnsel tevens de wolkensoorten te melden, welke tegelijk worden waargenomen. In de regel zullen dit wolken op grote hoogte zijn, die in hoofdstuk 5 zijn behandeld.

*Wind*

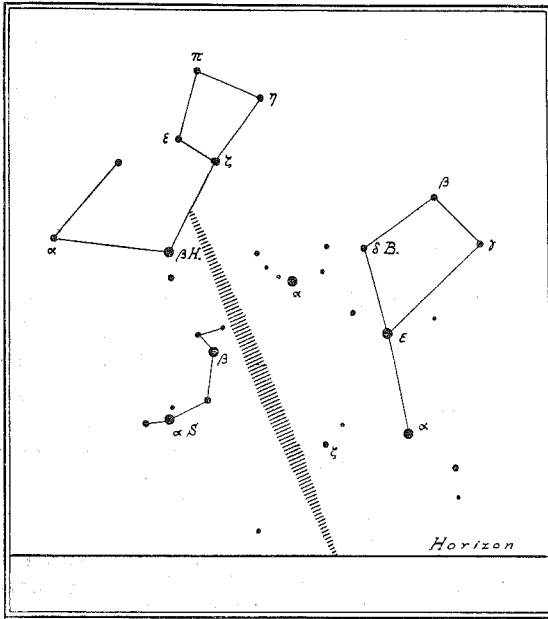
Men vermeldt tevens de *driftrichting van de wolken*, welke men het beste kan bepalen in de omgeving van het zenit. Ook de *windrichting* ter plaatse wordt genoteerd.

*Schetsen*

Geeft men een schets, dan moet deze de toestand op één bepaald tijdstip, dat men erbij aangeeft, weergeven. Men maakt dus „momentopnamen”, maar geen verzameltekeningen. Bijzonder gewenst zijn bij zeldzame verschijnselen foto's. De platen in dit boek geven voorbeelden van goed geslaagde opnamen.

*Poollicht*

Bij de waarneming van poollicht wordt nog speciaal verlangd de opgave van bijzondere momenten, b.v. het uitschieten van een straal, waarvan men de plaats, de richting, de hoogte (zo mogelijk ten opzichte van de



Figuur 66. Poollicht van 17 oktober 1930. Plaatsbepaling met behulp van de sterren. Tekening d'Aumerie.

sterren) en de tijd noteert; de hoogte van het donkere segment boven de horizon en het azimut van de grootste hoogte. Fig. 66 geeft een beeld van een goede plaatsbepaling te midden van de sterren. Ook voor de kleuren en de plaats in het poollicht waar ze voorkomen, wordt aandacht gevraagd. Verder lette men op storingen in de ontvangst van korte radiogolven (beneden 500 m). Het is mogelijk rustige en heldere poollichtvormen (H.A.) te fotograferen met een goede camera met kleine beelden. Gebruik de grootste lensopening en belicht zo lang mogelijk (minstens een minuut). Stel de camera op een statief en noteer nauwkeurig de tijd waarop de opname werd gemaakt. Een poollichtfoto waarop sterren zichtbaar zijn, is van grote waarde voor de bepaling van de ligging in de ruimte van het verschijnsel.

*Lichtende  
nachthemel*

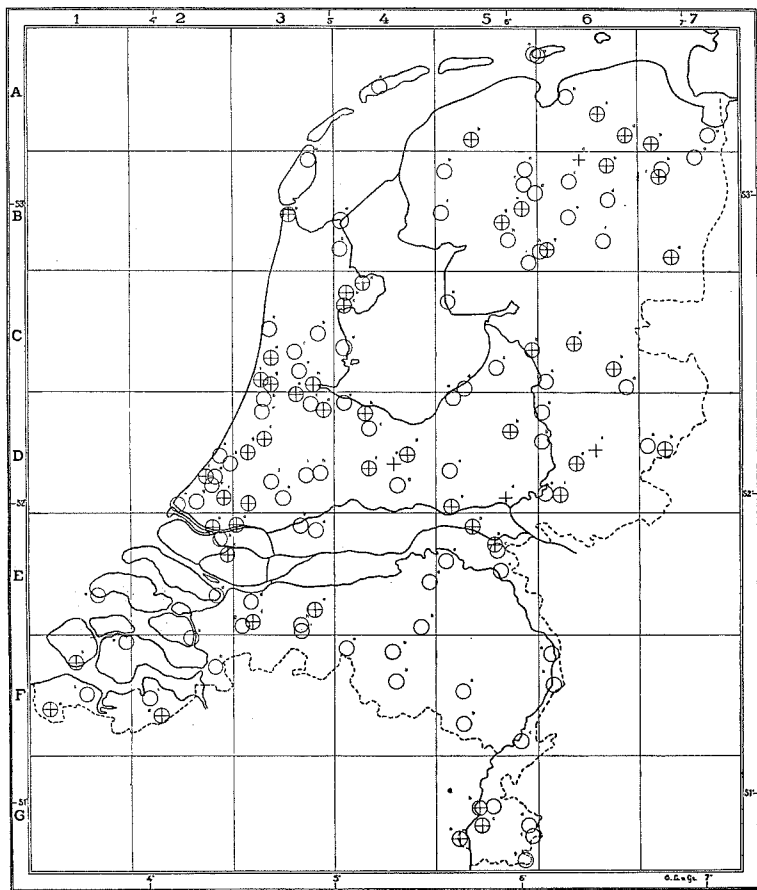
Voor het waarnemen van de lichtende nachthemel is afwezigheid van maneschijn allereerst vereist. Men moet vooral acht slaan op het onzichtbaar worden van sterren van de 4e en 5e grootte, en op een abnormaal ver zicht. Men geve de uitbreiding over de hemel aan en bij het voorkomen van stralen hun richtingen. Bij bewolkte hemel valt het lichtschijnsel tussen of achter de wolken nog dikwijls op.

**Vrijwillige waarnemers**

Nog steeds wordt het onderzoek naar de hier behandelde verschijnselen voortgezet. Daartoe zijn meerdere waarnemingen onontbeerlijk. Nederland heeft op dit gebied een zekere reputatie opgebouwd. Wil deze gehandhaafd blijven en wil het K.N.M.I. in staat zijn verdere bijdragen voor het wetenschappelijk speurwerk te leveren, dan is hierbij de hulp en medewerking van ieder, die deze verschijnselen waarneemt en het resultaat van zijn waarneming wil mededelen, onmisbaar.

Het kaartje op blz. 127 (fig. 67) geeft een overzicht van de verspreiding der vrijwillige waarnemers in het jaar 1951.

Iedereen, die bereid is als waarnemer ingeschakeld te worden en te helpen de dichtheid van het net te vergroten, kan zich daartoe aanmelden bij de Hoofddirecteur van het K.N.M.I. te De Bilt.



Figuur 67. Overzichtkaart van vrijwillige waarnemers in Nederland voor het jaar 1951.

Verklaring der tekens: kruis, vast onweersstation; kring, vast optisch station; stip, tijdelijke waarnemingsplaats van onweders.

## **Summary**

### ***Optical phenomena in the sky***

CHAPTER 1. CONCISE THEORY OF OPTICS

CHAPTER 2. THE OBSERVER

CHAPTER 3. OPTICAL PHENOMENA IN GASSES (THE ATMOSPHERE)

#### *Refraction*

*Abnormal refraction* (green flash; mirages; Novaya-Zemlya phenomenon)

#### *Visible sound waves*

*The Novaya-Zemlya phenomenon.* The sailors hibernating on the isle of Novaya-Zemlya, 1596–1597, saw the sun rising the 24th of January 1597, 14 days before the calculated date. The abnormal refraction amounted to more than  $4^\circ$ . Analogous phenomena have been observed Jan. 27 and 31 and Febr. 8. On board the „Endurance” (Shackleton’s expedition in the Weddell sea) the same phenomenon has been recorded on May 8, 1915 (the sun which had made „positively his last appearance” seven days earlier lifted more than half its disk above the horizon) and on July 26, 5 days before the calculated date.

The phenomenon may be explained by repeated total reflection on a ground inversion, extending Jan. 24th, 1597, along a distance of 400 km to the south. The temperature lapse rate must be at least  $9^\circ$ , an amount possible with extremely low temperatures at sea level. In the Weddell sea the temperature was  $15^\circ$  below zero Fahr. ( $-26^\circ$  C) on May 8.

CHAPTER 4. OPTICAL PHENOMENA IN LIQUIDS (WATER)

#### *Rainbow*

The colour schemes of fig. 14 (p. 29) are according to Pernter. The international trichromatic classification applied to the rainbow by Prins and Reesinck showed that the results of both methods are in good agreement.

#### *Corona*

Simpson disagrees with Pernter’s view concerning the occurrence of the corona in ice crystals. A study of the author showed that they are indeed possible; the finest coronæ, however, occur in rain drops.

### *Iridescent clouds*

At great distances of the luminary (up to  $40^\circ$ ), these clouds are due to the diffraction of the rays which are reflected by small cloud particles. The conditions for the development of colours are the same as those for directly diffracted rays in the neighbourhood of the luminary. The irisation phenomena must be due especially to water droplets.

### *Glory*

## CHAPTER 5. OPTICAL PHENOMENA IN SOLID PARTICLES (ICE CRYSTALS AND DUST)

### H a l o p h e n o m e n a

As regards the position of the ice crystals in the air we have to distinguish: 1. fortuitously directed crystals producing concentric circles about the sun (moon); 2. ice crystals falling through quiescent air. The author is of Hastings's opinion that we have to do generally with four different groups, gliding and rotating plates, gliding and rotating rods; 3. contrary to Hastings some rarely observed halos are discussed which may be ascribed: *a.* to the presence of crystals with rhombohedral faces; *b.* to complicated optical actions.

The following halo-features are dealt with:

#### A. Reflection

1. *Parhelic ring.* 2. *Undersun.* 3. *Oblique ring through the sun* (called by Bravais oblique parhelic ring; parhelia, however, do not occur on this ring!).

4. *Pillar.* Stuchtay's theory does not meet in all requirements, since it fails to explain the well defined limits of this feature. We may apply, as suggested by Hastings, total reflection at a base face (the light entering at a prismatice face and leaving through the opposite face). See fig. 23c for the theoretical result.

#### B. Refraction

5. *The halo of  $22^\circ$ .* 6. *The  $22^\circ$  parhelia.* A simple method of calculating the features of this parhelion is put forward. To explain its formation at high sun's altitude we may avoid to apply „parachute crystals”, since in simple plates total reflections must occur at the base faces even at the highest possible sun's altitude.

7–9. *Tangent arcs and circumscribed halo of  $22^\circ$ .* The „parhelic triangle” introduced by Bravais is a simple tool to deduce the metamorphosis of the tangent arcs.

10. *Parry's arc*. 11. *Arcs of Lowitz* (according to Hastings). These arcs are by no means extremely rare. The observations in the Netherlands yield an average of 4 per year. For a good deal of the observations only the oblique form of the parhelia is present.

12. *The 46° halo*. 13. *The circumzenithal arc* (Bravais). 14. *The circumhorizontal arc*. 15. *The infralateral arcs*. Fig. 36 (p. 67) shows the remarkable rectilinear I.L.A. observed at Batavia (now Djakarta), Java, April 16, 1924.

16. *The supralateral arcs*. 17. *The 46° parhelia*. 18–19. *The 46° tangent arcs* (Galle).

20–29. *Unusual halos*. Hastings may be right in stating that the crystals to produce unusual circular halos have never been observed, but these halos are not at all rare. The deductions of Bravais and Pernter are based on the famous observation of Clarke in 1822 of macrocrystals (diameters exceeding 1 inch). They have applied Hauy's law in order to calculate the possible inclinations of pyramidal faces. Their method is explained on p. 71. The table (p. 75, 76) and fig. 44 summarize the unusual halos observed in the Netherlands. A number of well observed cases is elucidated.

30–31. *Unusual tangent arcs*. Two observations (Lepper, 1933,  $11\frac{1}{2}^\circ$ , and Alkemade, 1944,  $24\frac{1}{2}^\circ$ ) may be explained by similar plate-shaped crystals with rhombohedral faces.

#### C. Diffraction

32. *Secondary halos* caused by diffraction. The reader is referred to the list of references, p. 101.

#### D. Repeated reflections and refractions

33. *Under-parhelion*. 34. *Oblique arcs through the anthelion*. The figures show two interesting observations: fig. 46, 1936, January 12; fig. 47, 1596, June 4 (take it upside down, a curious slip of the drawer who did not see it himself!). Hastings who considered these arcs to be an image of Parry's arc cannot be right, since this arc is too short, too weak and too rare. The right explanation has been given by A. Wegener: these oblique arcs are an image of the circumscribed halo. This theory is applied to fig. 46. The arcs were completely present; the officers remarked that the circular halo drawn in the figure appeared to be flattened.

35. *The paranthelion* of  $82^\circ$ . According to Ten Kate there is great confusion concerning this halo since as a rule it is unknown whether azimuth differences or true distances to the sun have been reported. All observations in the Netherlands are doubtful.



36. *The paranthelion of 60°*. A well known anhelion, the explanation of which, however, is uncertain. Mascart assumed a light way along the prismatic faces 1 3 5 2. The generally accepted light way of the anhelion of 82° is nearly the same, viz. 1 3 5 1. Therefore we must inevitably conclude that both paranthelia should occur simultaneously, whereas the one of 60° ought to be much weaker than the other. This is by no means the case. Probably Hastings's explanation is more correct.

Both at Enkhuizen (1950) and in Central Java (1933) at the place of the 60° paranthelion a number of parallel white bands have been reported. A phenomenon of interference?

37. *The paranthelion of 46°*. 38. *The short oblique arcs through the anhelion*. 39. *The anhelion*. 40. *Horizontal tangent arcs of 22°*.

#### E. *Other rare halos*

41. *Vertical*, and 42. *Oblique tangent arcs of the 22° halo*. 43. *Paranthelion of 35–38°*. 44. *The elliptic halo of Hissink*. 45. *The reflected circumzenithal arc*. 46. *Halo of Hevel*.

47. *Halo of Bouguer*, and 48. *Halo of Arctowski*; neither of them have been observed in the Netherlands.

#### F. *Inclining halos*

#### G. *Kindred halos*

As regards kindred unusual halos we may point to the simultaneous occurrence of halos of 26° and 33°, both of them brought about by pyramidal faces with an inclination of 43°14'.

#### H. *Frequency table*

Concerning the Dutch terms in the first column of the table the reader is referred to the English equivalents in the above summary. The columns contain the average annual numbers of days of the common halos, and the total number of days for the rare ones, both for the interval 1918–1953, included. For the unusual rings, nrs. 20–29, the reader should consult pages 75–76. They refer to all observations in the Netherlands, 1892–1953, included.

#### Diffraction in dust particles

#### *Bishop's ring*

### CHAPTER 6. THE DIFFUSION OF THE LIGHT

*The blue of the sky. Twilight phenomena. Crepuscular rays. Alpenglow. Nacreous clouds (mother-of-pearl clouds). Noctilucent clouds.*

CHAPTER 7. ELECTRICAL PHENOMENA

*Polar light.* (Aurora). The tables on p. 118 give the distribution of the different forms in the Netherlands and the annual range, showing the two tops about the solstia, which feature is characteristic of moderate latitudes.

*Light of night sky. St Elmo's fire.*

CHAPTER 8. OPTICAL PHENOMENA AND THE WEATHER

CHAPTER 9. INSTRUCTIONS FOR THE OBSERVERS

*References at the end of the different sections*

# REGISTER

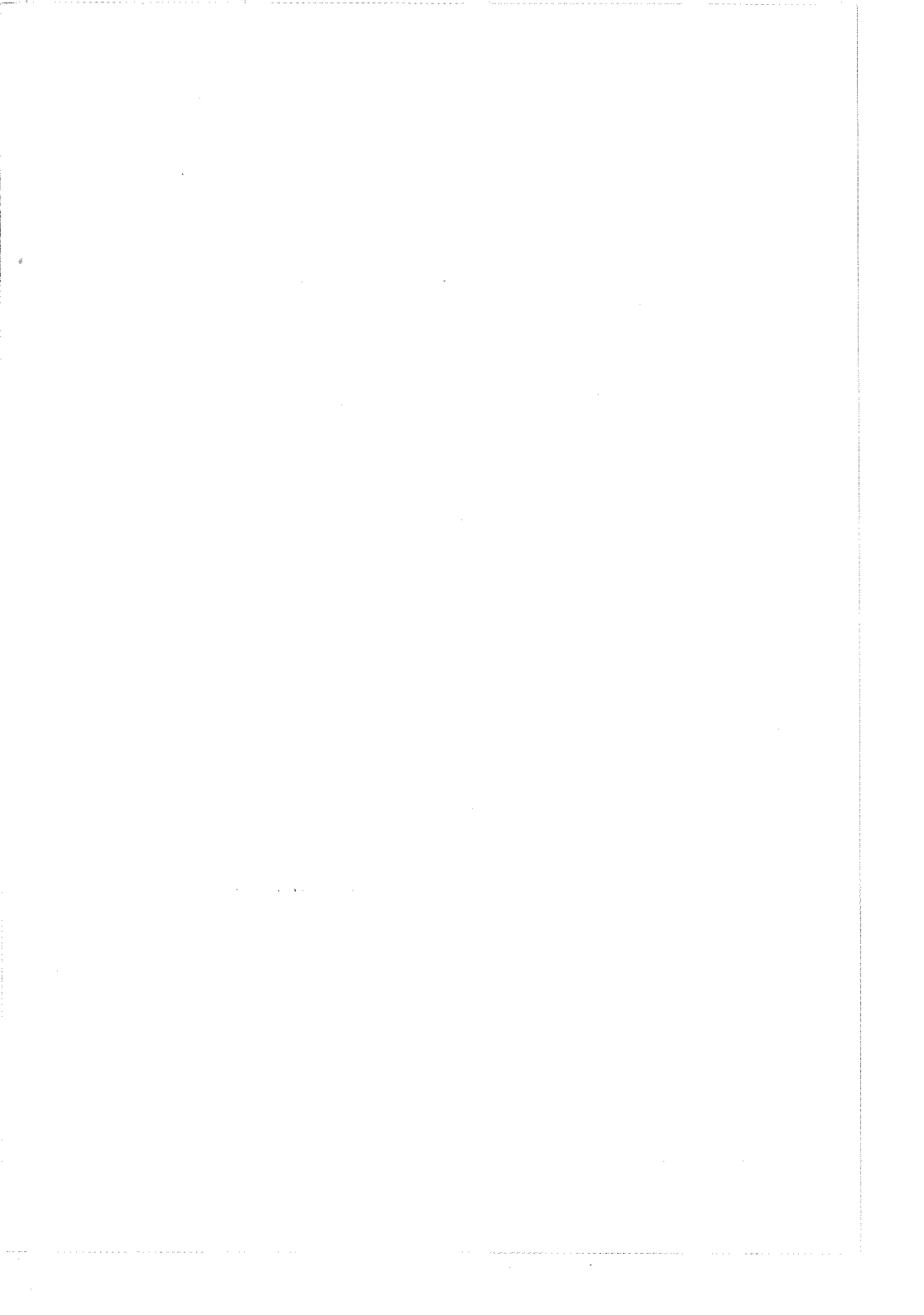
De getallen tussen haakjes verwijzen naar de volgnummers in het halo-overzicht, blz. 43—96, de andere getallen naar de bladzijden


	blz.		blz.
Aanwijzingen voor waarnemers . . . . .	123	Bovenraakboog (22°) (7) . . . . .	56
Aardschaduw . . . . .	105	(46°) (18) . . . . .	69
Afplatting, schijnbare — . . . . .	18	Bravais, boog van — (13) . . . . .	63
Afstandsschattingen . . . . .	21	Breking . . . . .	13
Alpengloed . . . . .	110	Brockengespenst . . . . .	36
Arctowski, bogen van — (48) . . . . .	96	Buiging . . . . .	16, 33
		— in vaste stoffen . . . . .	99
		Burney, halo van — (25) . . . . .	75
Benedenbijzon (33) . . . . .	82	Condensatiestrepn . . . . .	40
Benedenboog van Parry . . . . .	61	Dauwboog . . . . .	30
Benedenraakboog (22°) (8) . . . . .	56	Dellinger-effect . . . . .	117
— (46°) (19) . . . . .	69	Deviatie . . . . .	14
Benedenzon (2) . . . . .	43	— , minimum van — . . . . .	15
Bijmanenring (1) . . . . .	43	Diffractie . . . . .	16
Bijregenboog . . . . .	28	Diffusie . . . . .	17, 102
Bijtegenzor: (35—38°) (43) . . . . .	94	Driehoek, parhelische — . . . . .	58
(46°) (37) . . . . .	88		
(60°) (36) . . . . .	87	Everdingen, halo van Van —	
(82°) (35) . . . . .	86	(21) . . . . .	75
Bijzon (22°) (6) . . . . .	51	Fata morgana . . . . .	24
— (46°) (17) . . . . .	69, 91	Feuillée, halo van . (29) . . . . .	75
Bijzonnenring (1) . . . . .	43	Flikkeren van de sterren . . . . .	26
Bishop, ring van — . . . . .	99	Frequentie . . . . .	10
Blauw van de hemel . . . . .	102	Frequentietabel . . . . .	98
Bogen van Arctowski (48) . . . . .	96	Galle, boog van — (18) . . . . .	69
— korte scheve — (38) . . . . .	89	Geluidsgolven, zichtbare . . . . .	26
— lange scheve — (34) . . . . .	82	Glorie . . . . .	36
— van Lowitz (11) . . . . .	61	Golfengte . . . . .	10
— secundaire — van de regenboog . . . . .	28	Grenshoek . . . . .	14
Boog van Bravais (13) . . . . .	63	Hall, halo van — (21) . . . . .	74
— circumhorizontale — (14) . . . . .	64	Halo van Bouguer (47) . . . . .	96
— circumzenitale — (13) . . . . .	63	— Burney (25) . . . . .	75
— gespiegelde circumzenitale — (45) . . . . .	95	— Van Everdingen (21) . . . . .	75
— van Galle (18) . . . . .	69	— Feuillée (29) . . . . .	75
— van Kern (45) . . . . .	95	— Hall (21) . . . . .	74
— van Parry (10) . . . . .	60	— Heiden (23) . . . . .	75
Bouguer, halo van — (47) . . . . .	96		

	blz.		blz.
Halo van Hevel (46) . . . . .	96	<b>Maanregenboog</b> . . . . .	28
— Scheiner (27) . . . . .	75	<b>Maxwell, kleurendriehoek</b>	
— elliptische - van His-		van - . . . . .	31
sink (44) . . . . .	94	<b>Meetinstrumenten</b> . . . . .	19
— omgeschreven - (9) . . . . .	56	<b>Minimum van deviatie.</b> . . . . .	15
— omhullende - (9) . . . . .	56	<b>Mistboog</b> . . . . .	29
<b>Halo's, hellende</b> - . . . . .	96	<b>Nachthemel, lichtende</b> - . . . . .	119
<b>Hauy, Wet van</b> - . . . . .	71	<b>Nachtwolken, lichtende</b> - . . . . .	110
<b>Heiden, halo van</b> - (23) . . . . .	75	<b>Nevelboog.</b> . . . . .	29
<b>Hemelblauw</b> . . . . .	102	<b>Noorderlicht.</b> . . . . .	112
<b>Hevel, halo van</b> - (46) . . . . .	96	<b>Nova-Zembla-verschijnsel</b> . . . . .	25
<b>Hissink, elliptische halo van</b> -		<b>Octant</b> . . . . .	19
(44) . . . . .	44	<b>Paarlemoerwolken</b> . . . . .	110
<b>Hoofdregenboog</b> . . . . .	28	<b>Parry, boog van</b> - (10) . . . . .	60
<b>IJskristallen</b> . . . . .	38	<b>Poollicht</b> . . . . .	112
<b>IJswolken</b> . . . . .	39	<b>Pyroelektriciteit.</b> . . . . .	97
<b>Interferentie</b> . . . . .	16	<b>Raakbogen aan ongewone</b>	
<b>Jakobsstaf.</b> . . . . .	19	kringen (30, 31) . . . . .	76
<b>Kern, boog van</b> - (45) . . . . .	95	— benedenzijdelingse	
<b>Kleurendriehoek van Maxwell</b>	31	- (46°) (15) . . . . .	66
<b>Kleurschifting</b> . . . . .	15	— bovenzijdelingse -	
<b>Kleurspecificatie, internatio-</b>		(46°) (16) . . . . .	66
nale trichromatische . . . . .	32	— horizontale - (22°)	
<b>Kleurwaarnemingen.</b> . . . . .	22	(40) . . . . .	91
<b>Krans.</b> . . . . .	33	— infralaterale - (46°)	
<b>Kring van 22°</b> (5) . . . . .	48	(46°) (15) . . . . .	66
— 46° (12) . . . . .	63	— schuine - (22°)	
— 90° (46) . . . . .	96	(41) . . . . .	93
<b>Kring, gewone</b> - (5) . . . . .	49	— supralaterale -	
— grote - (12) . . . . .	63	(46°) (16) . . . . .	66
— kleine - (5) . . . . .	48	— verticale - (22°)	
<b>Kringen met ongewone straal</b>		(41) . . . . .	93
(20-29) . . . . .	73	— zijdelingse - (22°)	
— secundaire - (32) . . . . .	77	(11) . . . . .	61
<b>Kruis</b> . . . . .	47	<b>Raakboog aan de kring van</b>	
<b>Lichtsterkte</b> . . . . .	15	11½° (30) . . . . .	76
<b>Lowitz, bogen van</b> - (11) . . . . .	61	24½° (31) . . . . .	76
<b>Luchtspiegelingen.</b> . . . . .	24	<b>Rayleigh, Wet van</b> - . . . . .	102
		<b>Refractie</b> . . . . .	13
		<b>Regenboog</b> . . . . .	28

	blz.		blz.
Regenboog bij gespiegelde zon	32	Straal, kringen met ongewone	
— ongewone — . . . . .	33	— . . . . .	73
— secundaire bogen		Straalbreking, abnormale — . . . . .	23
aan de — . . . . .	28	Tegenzon (39) . . . . .	90
Ring van Bishop . . . . .	99	Terugkaatsing . . . . .	12
— paraselenische — (1). . . . .	43	— herhaalde — . . . . .	78
— parhelische — (1). . . . .	43	— totale — . . . . .	14
— scheve — door de zon (3) . . . . .	44	Theodoliet . . . . .	19
Röntgenanalyse . . . . .	72	Verstrooiing . . . . .	17, 102
Schattingen . . . . .	21	Vervorming van de zon . . . . .	23
Scheiner, halo van — (27). . . . .	75	Waarnemer . . . . .	18
Schemering, astronomische — . . . . .	103	Weer . . . . .	121
— burgerlijke — . . . . .	103	Wet van Hauy . . . . .	71
Schemeringsbundels . . . . .	109	Wet van Rayleigh . . . . .	102
Schemeringsverschijnselen . . . . .	102	Wet van Snellius . . . . .	13
Schietloodkwadrant. . . . .	20	Wolken, iriserende . . . . .	35
Sextant . . . . .	19	Wolkenvormen. . . . .	40
Sint-elmusvuur. . . . .	119	Zon, dubbele — . . . . .	47
Sneeuwboog . . . . .	49	— vervorming van de — . . . . .	23
Snellius, Wet van — . . . . .	13	Zonlicht. . . . .	10
Solar flare effect . . . . .	117	Zuil (4) . . . . .	45
Spectrum . . . . .	15	Zweefstand . . . . .	41
Staart van de bijzon. . . . .	51		
Storm, magnetische — . . . . .	113		
Straal, groene — . . . . .	23		





 11269 - '56