

De natuur om ons heen toont een grote verscheidenheid aan lichtverschijnselen. Het meest bekend is de kleurrijke regenboog, die we zien als de druppels van een regenbui door de zon beschenen worden. De regenboog is een van de verschijnselen die ontstaan doordat het zonlicht, alvorens een waarnemer te bereiken, bij zijn weg door de dampkring van richting is veranderd. Deze richtingsveranderingen of deviaties hebben verschillende oorzaken. Kleine deviaties (minder dan 1°) hangen samen met de dichtheidsopbouw van de atmosfeer. Ze zijn o.a. zichtbaar aan de vorm van de zonnescijf bij lage zonnestanden. Waterdruppels en ijskristallen in de atmosfeer veroorzaken veel grotere veranderingen van de richting van het invallende zonlicht; hierbij ontstaan allerlei witte of gekleurde lichtvlekken aan de hemel. Door buiging van het licht van zon of maan aan wolkendeeltjes treden deviaties op tot ca. 10° . Zo worden de *kransen* gevormd, kleurrijke ringen, die vooral 's nachts rond de maan makkelijk zichtbaar zijn. Terugkaatsing en breking van licht aan ijskristallen in de dampkring geven aanleiding tot allerlei *haloverschijnselen*. Bij het meest voorkomend haloverschijnsel, de *kleine kring*, bedraagt de deviatie 22° , maar ook andere waarden komen voor.

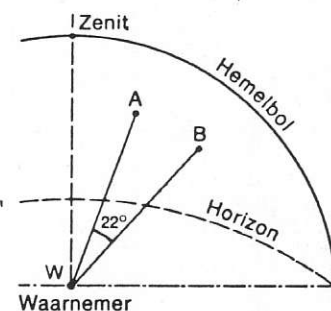
Nog weer grotere richtingsveranderingen van het invallende zonlicht worden veroorzaakt door vallende regendruppels; hier bedraagt de meest voorkomende waarde van de deviatie 138° en het bijbehorende lichtverschijnsel is de *regenboog*. Deviaties van ca. 180° treden op in wolkendruppeltjes en dauwdruppels. Op deze manier worden de '*glorie*' en de '*heiligschijn*' gevormd. Deze zijn zichtbaar rond de schaduw van een waarnemer op mist of wolken resp. bedauwd gras of riet.

De genoemde verschijnselen zullen worden besproken in de aangegeven volgorde, dus beginnend bij kleine deviaties en eindigend bij een deviatie van ca. 180° . De deviaties bepalen tevens de plaats aan de hemel waar een verschijnsel kan worden waargenomen. Zo bevindt de regenboog (deviatie 138°) zich op een afstand van 138° van de zon. Dat wil zeggen dat, wanneer we met de ene arm in de richting van de zon wijzen en met de andere in de richting van de regenboog de hoek tussen beide armen 138° bedraagt. Evenzo bevindt de kleine kring (deviatie 22°) zich op een afstand van 22° van de zon enz. (zie fig. 1). Bij het bespreken van de verschijnselen beginnen we dus bij de zonnescijf en richten we onze blik vervolgens steeds verder van de zon af om te eindigen in het punt recht tegenover de zon (het tegenpunt van de zon). Tot slot zal worden nagegaan of de komst van de gloeilamp en andere kunstmatige lichtbronnen het aantal waarnemingen van de genoemde verschijnselen heeft vergroot, doordat ze evenals de zon of de maan als lichtbron kunnen optreden.

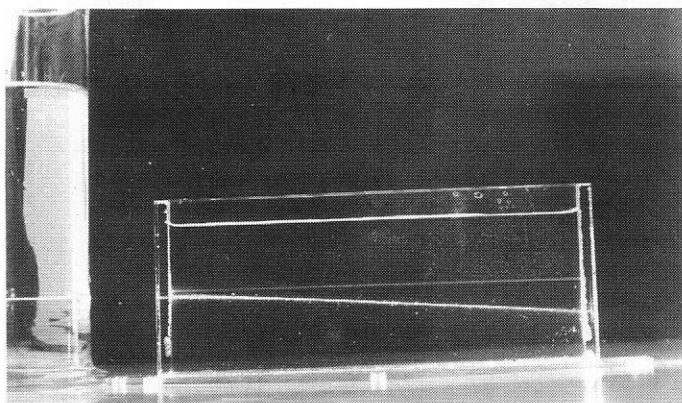
De laagstaande zon.

De veranderingen van richting die het zonlicht ondergaat t.g.v. de dichtheidsopbouw van de atmosfeer zijn weliswaar gering (minder dan 1°), maar de erdoor veroorzaakte verschijnselen zijn zeer spectaculair. De platen B t/m I geven een indruk van de verscheidenheid aan vormen, die de zonnescijf vlak na zonsopkomst of kort voor zonsondergang kan vertonen. De laagstaande zon is in ons land niet dagelijks zichtbaar. Vaak wordt hij door bewolking aan het oog onttrokken. Ook beschikken we meestal niet over een vrij horizon zonder gebouwen, bomen of heuvels. Doet zich ech-

ter een gelegenheid voor, b.v. aan de kust of op grote hoogte, dan is steeds zichtbaar dat de verticale diameter van de zonnescijf kleiner is dan de horizontale, zodat de zon afgeplat lijkt. Deze *afplating*, die met het blote oog te zien is, hangt samen met de manier waarop lichtstralen zich in de dampkring voortplanten. Met het afnemen van de dichtheid van de lucht met toenemende hoogte wordt ook de waarde van de brekingsindex kleiner. Het zonlicht beschrijft hierdoor gekromde banen (zie plaat A) met als gevolg dat we de zon en andere hemellichamen hoger aan de hemel zien staan dan zonder atmosfeer het geval zou zijn (zie fig. 2). Naarmate een punt zich verder van het zenit (zie fig. 1) bevindt, is de 'optilling' die door de atmosfeer veroorzaakt wordt groter.

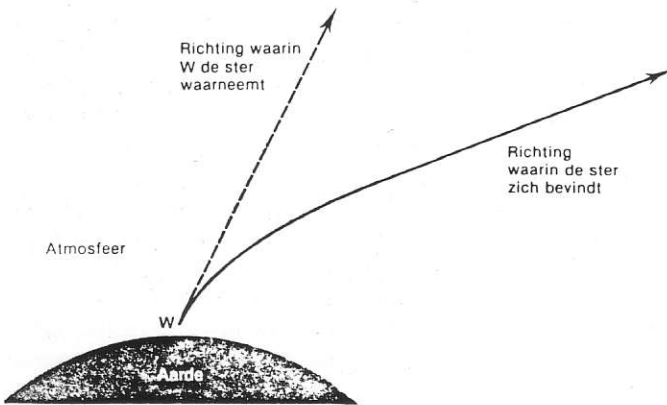


1. Afstanden op de hemelbol. Een waarnemer *W* bevindt zich altijd in het middelpunt van de hemelbol. Het punt recht boven de waarnemer op de hemelbol is het zenit. Het horizontale vlak waarin de waarnemer zich bevindt snijdt de hemelbol volgens een cirkel: de horizon (deze valt dus niet noodzakelijkerwijs samen met de kim, de grens tussen land of zee en lucht). De afstand tussen twee punten op de hemelbol bedraagt 22° als hoek ($\angle AWB = 22^\circ$).

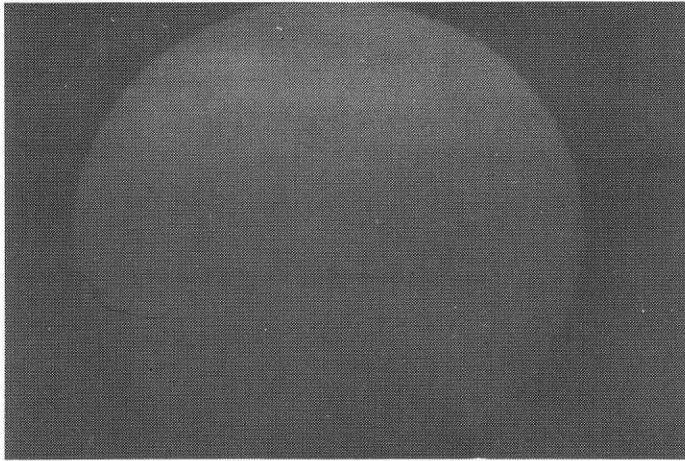


- A. Een lichtstraal valt horizontaal in op een suikeroplossing. Onderin is de suikerconcentratie hoger dan bovenin, zodat de brekingsindex naar boven toe afneemt. Daardoor volgt de lichtstraal een gekromde baan. Hetzelfde verschijnsel treedt op in onze dampkring. Daar neemt de brekingsindex eveneens naar boven toe af door het ijler worden van de lucht. Lichtstralen volgen in de dampkring dan ook gekromde banen. (Het cilinderglas links dient om de richting van het invallende licht zichtbaar te maken).

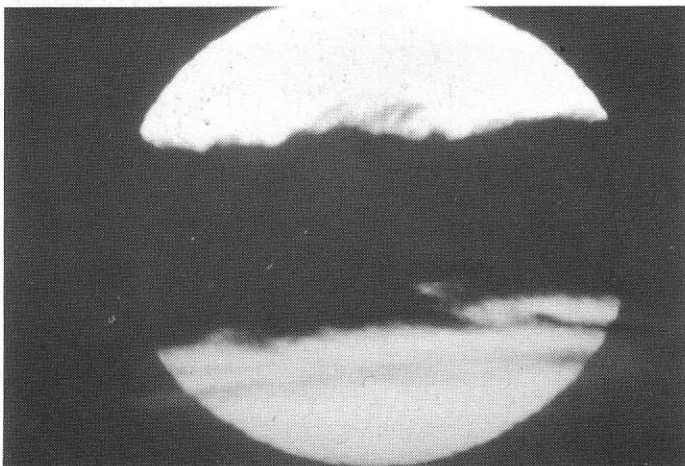
Zo wordt ook de onderrand van de zon meer opgetild dan de bovenrand, waardoor de zonnescijf in verticale richting wordt samengedrukt en de ovale vorm ontstaat (plaat B).



2. Door de atmosferische straalkromming neemt men sterren en andere punten aan de hemelbol hoger waar dan zonder atmosfeer het geval zou zijn.



- B. Zonsondergang 29 april 1978 te Vlieland.
De zonnescijf is ovaal; de verticale diameter van de zonnescijf is kleiner dan de horizontale.

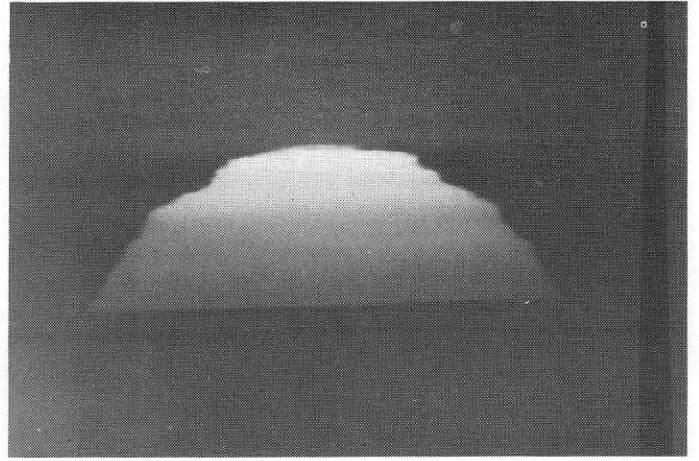


- C. Zonsondergang 29 maart 1978 te Nes (Ameland).
De rand van de zonnescijf is geen strak getrokken lijn, maar vertoont rafels.

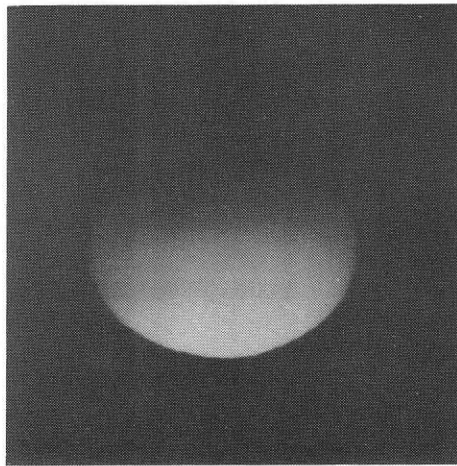
Wanneer we de laagstaande zon waarnemen met een verrekijker zijn gewoonlijk meer details zichtbaar. Op verschillende foto's is te zien dat de laagstaande zon allerlei kartels en rafels aan zijn rand vertoont. De *rafels* (plaat C) ontstaan door kleine dichtheidswisselingen in de lucht waar we doorheen kijken, die op hun beurt weer het gevolg zijn van kleine wervelingen die in bewegende lucht optreden. De plaatselijke afwijkingen van de gemiddelde dichtheid veroorzaken afwijkingen van de gemiddelde brekingsindex, van de richting waarin de lichtstralen zich voortplanten en dus ook van de richting waaruit het zonlicht afkomstig lijkt. Voor de

meeste punten van de zon zal een kleine verplaatsing niet opvallen omdat deze door een verplaatsing van andere punten van de zonnescijf weer ongedaan gemaakt wordt. Aan de rand geldt dit echter niet, zodat deze een rafelig aanzien krijgt. Het verschijnsel van de rafels is in wezen hetzelfde als het twinkelen of scintilleren van de sterren, dat 's nachts kan worden waargenomen.

Kartels zijn wat grotere, hoekige 'storingen' op de ovale vorm van de zon, die aan beide zijden van de zon op dezelfde hoogten optreden (zie plaat D en E). Ze worden veroorzaakt door de aanwezigheid van lagen met verschillende temperatuur (dus ook verschillende dichtheid en brekingsindex) in het onderste gedeelte van de dampkring.



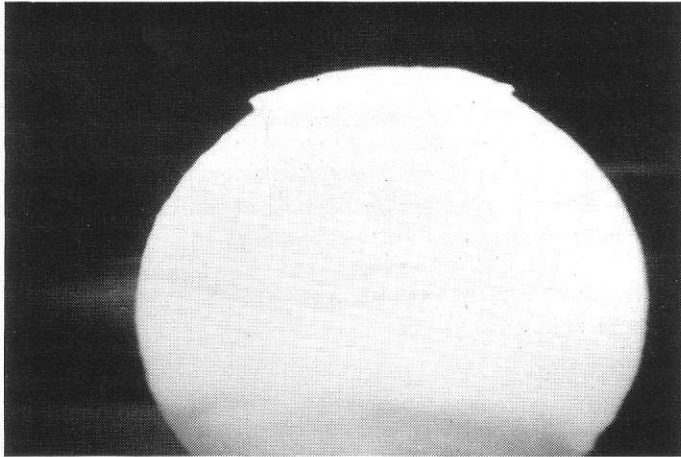
- D. Zonsondergang 24 juli 1978 te Yport (Normandië).
De bovenrand van de zonnescijf vertoont allerlei kartels. Deze wijzen op een gelaagde opbouw van de atmosfeer.



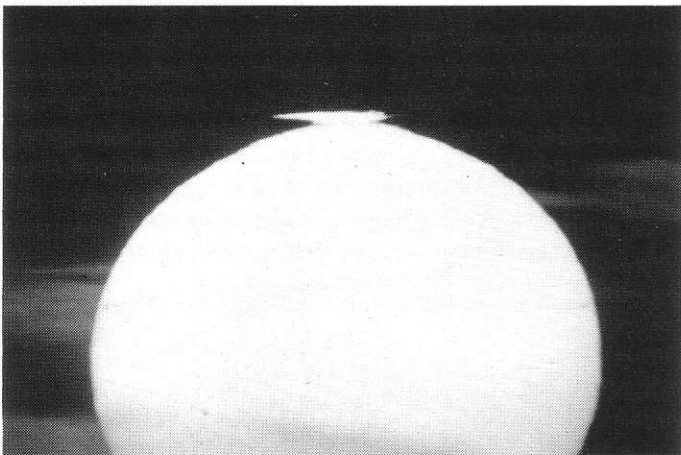
- E. Zonsondergang 21 mei 1977 te Texel.
De onderzijde van de zon laat duidelijk kartels zien.

In principe lopen de grensvlakken tussen dergelijke lagen horizontaal, maar door verschillen in wind tussen de beide lagen kunnen de grensvlakken in trilling worden gebracht (vergelijk het ontstaan van oppervlakte-golven wanneer lucht over een wateroppervlak stroomt). Dan ontstaan merkwaaardige uitstulpingen aan de rand van de zon (zie plaat F), die, naarmate de zon zakt, geleidelijke langs de rand naar boven bewegen om te eindigen als een afsnoering aan de bovenzijde van de zon (zie plaat G), een eilandje van (geel en groen) licht middenboven de zon. Boven warme oppervlakken is de kromming van de lichtstralen in de onderste warme lucht-

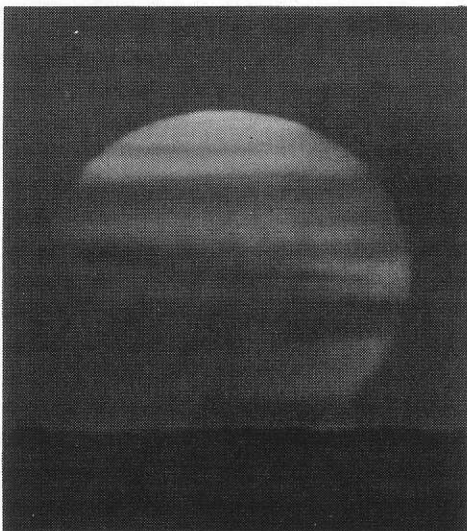
laag tegengesteld aan de normale kromming. Bij voldoende grote temperatuurverschillen spiegelen de lichtstralen a.h.w. tegen de warme laag. Er kunnen dan *deuken* optreden aan de onderzijde van de zonneschijf (zie plaat H). Het is hetzelfde verschijnsel als de luchtspiegelingen in de woestijn of boven warme asfaltwegen, die in de verte met plassen water bedekt lijken. Het gedeelte van de zonneschijf onder de deuk is het spiegelbeeld van een gedeelte van de zonneschijf vlak boven de deuk.



F. Zonsondergang 26 juli 1978 te Yport (Normandië). Aan de rand van de zon zijn merkwaardige uitstulpingen zichtbaar, die naarmate de zon zakt langs de rand naar boven bewegen.

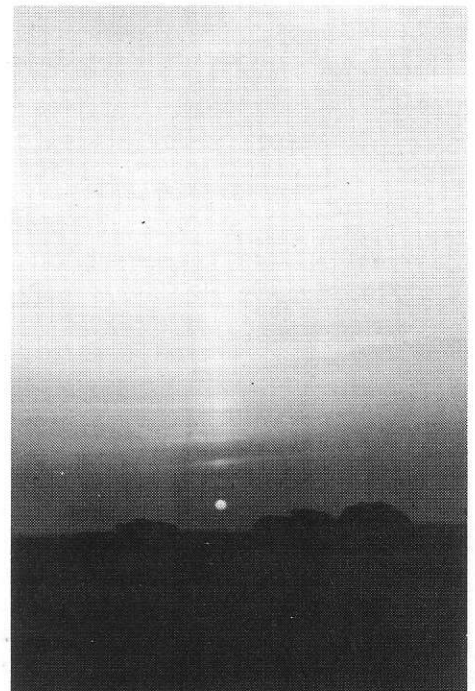


G. Deze foto werd kort na foto F genomen. Aan de bovenzijde van de zon bevindt zich een 'af snoering'.



H. Zonsondergang boven warm wateroppervlak, waargenomen op 3 september 1976 te Camperduin (NH). Aan de onderzijde van de zonneschijf bevinden zich 'deuken'.

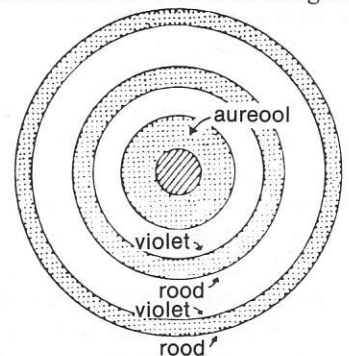
Een zonsondergang kunnen we het best waarnemen met een verrekijker vanaf een punt met een vrije horizon. Wel dienen we steeds maatregelen te treffen om te voorkomen dat we ons oog door een teveel aan zonlicht beschadigen. Zelf klem ik donkere negatieve tussen mijn bril en de eraan bevestigde zonnebril alvorens een kijker op de laagstaande zon te richten. Van de kijker is vooral de vergroting belangrijk; aan de lichtsterkte hoeven geen hoge eisen gesteld te worden omdat er gewoonlijk al veel te veel licht is. Overigens wisselt de lichtsterkte van de zonneschijf bij verschillende zonsondergangen aanzienlijk. Voor het fotograferen van zonsondergangen is een telelens noodzakelijk. Standaardlenzen geven een klein beeld van de zon (vgl. plaat R), waarop de hier beschreven details niet of nauwelijks zichtbaar zijn. Bovendien beantwoordt het resultaat dan niet aan ons subjectief gevoel. Door gezichtsbedrog lijkt de zonneschijf bij laagstaande zon groter dan midden op de dag. Een fotoestel is hiervoor echter ongevoelig. Een opname, die met een telelens werd gemaakt beantwoordt beter aan onze verwachting een grote zonneschijf aan te treffen nabij de horizon.



R. Zuil, waargenomen tijdens de zonsopkomst van 16 juli 1976 te Workum.

Kransen.

Onder een *krans* verstaan we het lichtverschijnsel dat om de zon of de maan ontstaat in dunne bewolking. In fig. 3 is schematisch aangegeven wat we dan waarnemen. Rond de lichtbron bevindt zich de aureool, een heldere (blauw-)witte ring met een rode of roodbruine rand. Dit is de eenvoudigste vorm van de krans.



3. Principe van de krans. De aureool rond de zon of de maan is nagenoeg kleurloos. De aureool is omgeven door een of meer gekleurde ringen (twee afgebeeld) met een blauwe binnenrand en een rode buitenrand.