

terwijl het eind nog niet in zicht is. De productie en ontwikkeling van nieuwe wapensystemen – met steeds grotere precisie en inzetbaarheid – is in volle gang.

Vermoedelijk zitten velen van ons met de vraag hoe stellen we dit in onze lessen aan de orde. NVON kan ons daarbij helpen met een vakantiecursus of een 'Woudschotenconferentie' over het onderwerp kernbewapening, met verslaggeving in *Faraday*. In *Faraday* kan voorts regelmatig een kort artikel met feiten en bronvermelding worden opgenomen over:

- de gevolgen van het gebruik van kernwapens
- de fysische processen die optreden tijdens en kort na een explosie
- de enorme toename in kracht en aantal van de kernwapens
- de verfijningen waardoor de inzetbaarheid aantrekkelijk wordt en waarmee de atoomdrempel verlaagd wordt
- de onmogelijkheid van bescherming<sup>3</sup>
- de morele aftakeling van de menselijke samenleving als gevolg van de gewinning aan strategieën die rekenen in 'megadoden'
- lesmateriaal over de kernbewapening<sup>4</sup>.

Een uitstekende gelegenheid om deze zaken aan de orde te stellen bij het vwo vormt natuurlijk het

keuze-onderwerp *Natuurkunde in de samenleving* (VU, Amsterdam).

De inspanningen van de leraren, ondersteund door hun vakorganisatie NVON, kunnen er toe bijdragen, dat onze leerlingen gaan inzien, dat met bezit, dreigen en gebruik van kernwapens de grenzen van wat moreel toelaatbaar is verre overschreden zijn.

Als docent natuurkunde en als opvoeder hebben wij hier ons inziens een duidelijke taak.

#### Notes

1. *Naar een rechtvaardiger internationale orde*, blz. 324, Elsevier Amsterdam 1976. Coördinator Jan Tinbergen. Volgens noot 4 zijn de gegevens uit het rapport van de VN *Economic and social consequences of the arm race and of military expenditures*.
2. Niels Bohr in brieven aan Roosevelt en Churchill over de kernwapens.
3. Bijv. de paginagrote advertentie in de landelijke bladen van 30-12-'80. *De gevolgen van de atoomoorlog*, Nederlandse Vereniging voor Medische Polemologie. En ook het rapport van medewerkers aan de TH-Twente uit 1971, *De onmogelijkheid van militaire verdediging*.
4. Bijv. *Kernwapens, een kwestie van overleven*, J. de Jong en B. J. Th. ter Veer, Werkgroep Vredesonderwijs, Parkstraat 9, 3581 PA Utrecht, tel. (030)31 69 25. Studiecentrum voor vredesvraagstukken van de KU te Nijmegen.

## De horizontale cirkel

KEES FLOOR, *vakgroep natuurkunde-didaktiek, Rijksuniversiteit Utrecht\**

### Samenvatting

IJskristallen nemen in een rustige atmosfeer vaak een voorkeursstand in. Met behulp van de aan onze leerlingen bekende terugkaatsingswetten uit de geometrische optica kunnen we nagaan welke vormen we kunnen verwachten voor de weerspiegeling van zonlicht tegen de zijvlakken van dergelijke kristallen. De aldus berekende vorm wordt in de praktijk

regelmatig waargenomen. Hij staat bekend als de *horizontale cirkel*<sup>1</sup> en vormt een 'natuurlijke' illustratie van de terugkaatsingswetten.

### *IJskristallen in de atmosfeer*

Op 5-10 km hoogte boven het aardoppervlak bevinden zich vaak wolken die helemaal uit ijsdeeltjes bestaan. De windveren, de melklucht, de kleinste schaapjeswolken<sup>2</sup> en de meeste vliegtuigwolken zijn

\* Thans KNMI, *De Bilt*.

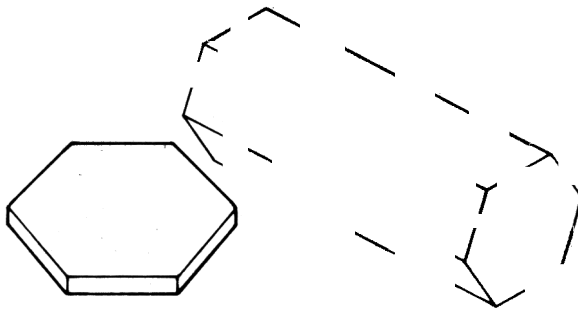
voorbeelden van zulke ijswolken. Het ijs in deze wolken is gekristalliseerd in de vorm van zeshoekige kristallen of samenstellingen daarvan. De eenvoudigste en meest voorkomende vormen zijn afgebeeld in figuur 1. Het dunne kristal heet een plaatje, het andere een zuiltje. Beide kristalvormen zijn zeshoekig.

In de figuur is te zien dat het enige verschil zit in de verhouding van de lengte van het kristal en de diameter. Bij het vallen door een rustige luchtlaag neemt een kristal een voorkeursstand aan en wel de stand waarbij het kristal zoveel mogelijk luchtweerstand ondervindt. (Een velletje papier neemt bij het vallen ook een stand aan, waarbij de luchtweerstand het grootst is). Een voorkeursstand voor elk van de kristallen is weergegeven in figuur 1. Andere voorkeursstanden verkrijgt men door draaiing van het getoonde kristal in een horizontaal vlak; bij zuiltjes bovendien nog door draaiing om de horizontale lengte-as van het kristal. Bij een plaatje in de voorkeursstand staan de zes zijvlakken vertikaal; bij een zuiltje de zeshoekige uiteinden en incidenteel een van de zijvlakken. De verticale zijvlakken van de plaatjes en de zuiltjes hebben overigens willekeurige richtingen.

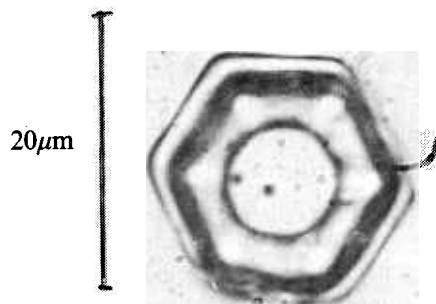
### Weerspiegeling van zonlicht tegenover de zon

Wanneer zonlicht invalt op een van de zijvlakken van een ijskristal, wordt een deel van het zonlicht teruggekaatst; de rest verlaat na twee brekingen (en eventueel een of meer inwendige terugkaatsingen) het kristal<sup>3</sup>. Hieronder gaan we na hoe de weerspiegeling aan de zojuist beschreven verticale zijwanden van plaatjes of zuiltjes eruit ziet. We maken daarbij gebruik van de terugkaatsingswetten uit de geometrische optica. Voor ijskristallen in de richting tegenover de zon is het relatief eenvoudig om na te gaan waar de weerspiegeling van de zon in de verticale zijwanden zichtbaar wordt. Invallende lichtstraal en teruggekaatste lichtstraal liggen in het verticale vlak door de waarnemer en de zon.

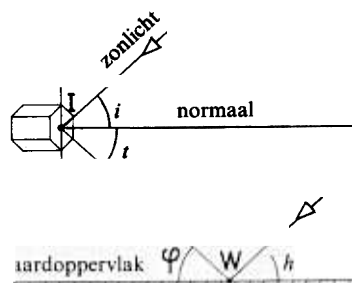
Dit vlak is het vlak van tekening van figuur 3. De normaal moet zich in hetzelfde vlak bevinden; bovendien loopt de normaal op een vertikaal zijvlak



Figuur 1 De eenvoudigste en meest voorkomende vormen van ijskristallen in de atmosfeer: links een plaatje, rechts een zuiltje. De kristallen zijn afgebeeld in een van hun voorkeursstanden bij een vrije val. De zeshoekige zijvlakken van het plaatje en de lengtes van het zuiltje lopen horizontaal.



Figuur 2 Een schoolvoorbeeld van een plaatje (foto M. Krielaart en H. Verschure).



Figuur 3 Waarnemer W ziet de weerspiegeling van het zonlicht tegen de verticale zijwand van een ijskristal in I op een hoogte  $\varphi$  boven de horizon. De zonhoogte bedraagt  $h$ ;  $i$  is de invalshoek,  $t$  de terugkaatsingshoek. Er geldt  $i = t = \varphi = h$ . De normaal  $n$  verloopt horizontaal. Vlak van tekening is het verticale vlak door de zon, de waarnemer W en het ijskristal I.

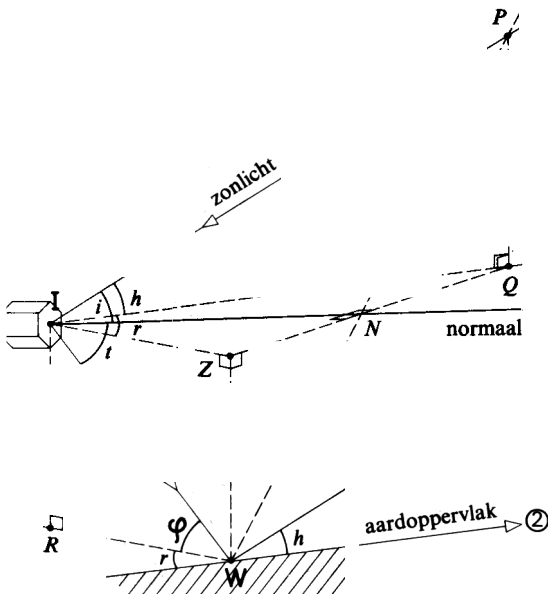
van een ijskristal horizontaal. De normaal is dus de horizontale lijn door het punt  $I$  waar het zonlicht invalt in het vlak van tekening van figuur 3. In deze figuur is tevens te zien dat de invalshoek  $i$  gelijk is aan de zonshoogte  $h$ . De terugkaatsingshoek is volgens de tweede terugkaatsingswet tevens gelijk aan  $h$ . De waarnemer  $W$  ziet de weerspiegeling van het zonlicht op dezelfde hoogte als de zon, als een lichte vlek in de bewolking (zie figuur 6).

### Weerspiegeling van zonlicht bij een willekeurige waarnemingsrichting

Op dezelfde manier kunnen we voor ijskristallen in een andere richting nagaan wanneer de waarnemer het kristal ziet oplichten door weerspiegeling van zonlicht. In figuur 4 bijvoorbeeld maakt de kijkrichting van waarnemer  $W$  een hoek  $r$  met de richting van het punt op de horizon recht tegenover de zon. Het zonlicht valt in op het punt  $I$  op het verticale zijvlak van een ijskristal. De invallende en de teruggekaatste lichtstraal zijn in de figuur aangegeven. Voor de normaal ( $IN$  in figuur 4) geldt weer dat hij zowel ligt in het vlak van deze beide lichtstralen als in het horizontale vlak. We trekken nu een hulplijn  $WP$

in het vlak van inval, evenwijdig aan het zijvlak van het kristal;  $N$  is het snijpunt van deze hulplijn met de normaal. Bovendien tekenen we de projecties van de invallende en de teruggekaatste lichtstraal (resp.  $IQ$  en  $IZ$ ) op het horizontale vlak door het ijskristal  $I$ . Na toepassing van de terugkaatsingswet  $i = t$  en via de congruentie van een aantal driehoeken in figuur 4 kunnen we de hoek  $\varphi$  berekenen waaronder de waarnemer de weerspiegeling van het zonlicht tegen het ijskristal waarneemt (zie aanhangsel). Deze hoek is gelijk aan de zonhoogte  $h$ , ongeacht boven welk punt van de horizon de waarnemer de weerspiegeling ziet (aanhangel, conclusie 1).

De bijbehorende stand van het ijskristal volgt eveneens uit deze berekeningen: de normaal maakt een hoek  $\frac{r}{2}$  met de richting van het punt aan de horizon, recht tegenover de zon (conclusie 2). Bij elke kijkrichting behoort dus wel een andere stand van het ijskristal. Tenslotte kunnen we uit figuur 4 ook de invalshoek  $i$  (= terugkaatsingshoek  $t$ ) afleiden:  $\cos i = \cos h \cdot \cos \frac{r}{2}$  (conclusie 3) Recht tegenover de zon ( $r = 0$ ) is  $i = h$ . Vlak voor de zon ( $r = 180^\circ$ ) is  $i = 90^\circ$ ; daar scheidt het zonlicht dus langs het zijvlak van het ijskristal.

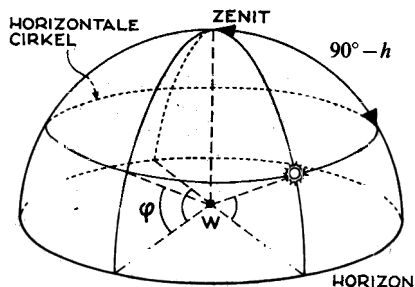


Figuur 4 Weerkaatsing van zonlicht tegen de verticale zijwand van een ijskristal. Symbolen als in figuur 3. De hulplijn  $WP$  loopt evenwijdig aan de zijwand van het ijskristal; deze lijn snijdt de normaal in  $N$ .  $IQ$  en  $IZ$  zijn de projecties van de invallende en de teruggekaatste lichtstraal op het horizontale vlak door  $I$ .

Pijl 1 wijst naar het punt op de horizon tegenover de zon.

Pijl 2 wijst naar het punt op de horizon onder de zon.

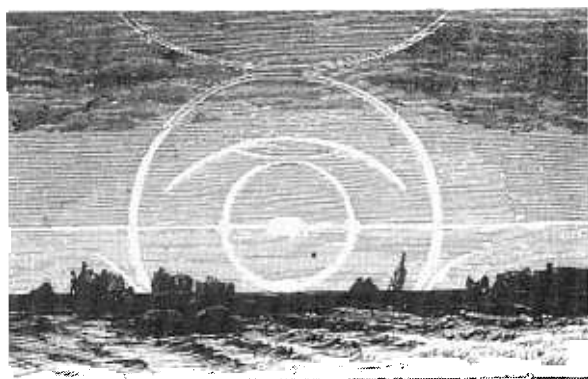
Pijl 3 wijst naar het punt op de horizon onder het ijskristal.



Figuur 5 De horizontale cirkel; symbolen als in de figuren 3 en 4.



Figuur 6 De horizontale cirkel, waargenomen te De Bilt op 4 augustus 1976. De optredende verschillen in lichtsterkte van de cirkel worden veroorzaakt door ongelijkmatigheden in de bewolking.



Figuur 7 Een samengestelde halo. Naast de horizontale cirkel (h) zijn diverse andere halovormen zichtbaar<sup>3</sup>. De horizontale cirkel bevindt zich op de hoogte van de zon en loopt evenwijdig aan de horizon.

### Aanhangsel<sup>5</sup>

In de tekening van figuur 4 zijn de volgende hoeken recht:

$$\begin{aligned} \angle WNI = \angle PNI = \angle WZN = \angle PQN = \\ \angle IQP = \angle IZW = \angle IRW = \angle ZNI = \\ \angle INQ = 90^\circ \end{aligned} \quad (1)$$

Volgens de terugkaatsingswet geldt

$$\angle PIN = \angle WIN = i = t \quad (2)$$

Uit (1), (2) en  $IN = IN$  volgt dat  $\triangle WNI \cong \triangle PNI$ , dus  $WN = PN$  (3)

$$\text{en } WI = PI \quad (4)$$

Verder is  $\angle ZWN = \angle QPN$  (verwisselende binnenhoeken) (5)

Uit (1), (3) en (5) volgt dat  $\triangle WZN \cong \triangle PQN$ , dus  $ZN = QN$  (6)

$$\text{en } ZW = QP \quad (7)$$

Uit (1), (4) en (7) volgt dat  $\triangle IWZ \cong \triangle IPQ$ , zodat  $\angle WIZ = \angle PIQ$  (8)

$$\text{en } IZ = IQ \quad (9)$$

Het zonlicht valt op het ijskristal in onder een  $\angle PIQ = h$  (10)

Verder geldt  $\angle RWI = \angle WIZ$  (verwisselende binnenhoeken) (11)

$\angle RWI$  is de hoogte waarop de waarnemer de weerkaatsing van het zonlicht ziet; deze hoogte is gelijk aan de zonshoogte  $h$ , zoals blijkt uit (8), (10) en (11). (conclusie 1)

Uit (1), (6) en  $IN = IN$  volgt dat

$$\triangle INZ \cong \triangle INQ, \text{ zodat } \angle ZIN = \angle QIN = \frac{r}{2}$$

$\angle QIN$  is de hoek tussen de richting van de normaal en de richting van het punt op de horizon tegenover de zon; de stand van de zijwanden van het ijskristal waarbij reflectie optreedt is hiermee bekend. (conclusie 2)

Tenslotte zien we in figuur 4 dat  $\cos i = \frac{IN}{IP} = \frac{IN}{IZ} \times \frac{IZ}{IP} = \cos \frac{r}{2} \cdot \cos h$ , (conclusie 3)

## De horizontale cirkel

We kunnen nu het volgende verwachten: De weerspiegeling van het zonlicht in de verticale wanden van ijskristallen in de atmosfeer heeft de vorm van een cirkel (figuur 6). De cirkel loopt op de hoogte van de zon evenwijdig aan de horizon (figuur 7) en heet daarom horizontale cirkel<sup>1</sup>. Het middelpunt van de horizontale cirkel is het zenit (het punt recht boven de waarnemer). De straal<sup>4</sup> bedraagt  $(90 - h)^\circ$ . De cirkel is dus kleiner naarmate de zon hoger staat.

Een dergelijke cirkel wordt in de praktijk inderdaad waargenomen. De cirkel is soms compleet, maar vaak is het gebied met geschikte ijskristallen niet uitgestrekt genoeg, zodat slechts een deel van de cirkel zichtbaar is (figuur 6). De cirkel vormt een van de vele prachtige haloverschijnselen<sup>3</sup>. Hij wordt vaak samen met andere halovormen waargenomen, zoals in het geval van figuur 7.

## Noten

1. Andere namen voor het verschijnsel zijn 'bijzonnering' en 'parhelische ring'. Het verschijnsel wordt ook waargenomen bij maanlicht. In dat geval luiden de andere namen 'bijmanenring' en 'paraselenische ring'.
2. De meteorologische benaming voor deze wolkentypen is resp. cirrus, cirrostratus en cirrocumulus. Bij het herkennen van deze wolkentypen kan men gebruik maken van *KNMI Wolkenatlas*, Staatsuitgeverij, Den Haag 1966 of van M. Minnaert *De Natuurkunde van 't vrije veld 2*, Thieme, Zutphen 1970<sup>3</sup>.
3. De gebroken lichtstralen kunnen allerlei lichtverschijnselen veroorzaken aan de hemel, die bekend staan onder de naam halo's. Zie verder: M. Minnaert: *De natuurkunde van vrije veld 1*, Thieme, Zutphen 1968<sup>5</sup> of C. Floor, Halo's, *Natuur en Techniek* 45, 364 (juni 1977).
4. Afstanden aan de hemelbol geeft men meestal op in graden. De afstand van *A* tot *B* bedraagt bijvoorbeeld  $20^\circ$  als de verbindinglijnen van een waarnemer naar *A* en *B* een hoek van  $20^\circ$  met elkaar maken.
5. Literatuur bij het aanhangsel B. L. Cardon: An unusual lunar halo, *Am J Ph* 45, 331 (april 1977).

# PLON -HAVO-Bovenbouw in ontwikkeling

P. L. LIJNSE, D. VAN GENDEREN, F. L. GRAVENBERCH EN M. H. M. RÖMGENS.

## Bedoeling

Sinds 1973 draagt het PLON bij aan vernieuwing van het nederlandse natuurkunde-onderwijs. Begonnen werd toen met de ontwikkeling van een nieuwe natuurkundekursus voor het MAVO en de onderbouw HAVO-VWO.

Minder bekend is misschien dat sinds begin 1978 ook wordt gewerkt aan de ontwikkeling van nieuw lesmateriaal voor de bovenbouw van het HAVO. En, alhoewel dit HAVO-bovenbouw project (HBB) nog lang niet aan zijn voltooiing toe is, willen wij u hierover toch nu reeds informeren.

De informatie in *dit* artikel zal overigens nog zeer globaal zijn. Verdere uitwerkingen en voorbeelden volgen later!

## Organisatie

De bemanning bestaat deels uit PLON-medewerkers en deels uit medewerkers van de vakgroep natuurkunde-didaktiek der RUU, die voor een deel van hun tijd aan het project meewerken<sup>1</sup>.

Als onderdeel van het totale PLON-gebeuren valt ook dit deelproject onder de verantwoordelijkheid van een 'stuurgroep'. Hierin hebben, naast vertegenwoordigers uit didaktische en beleidsinstellingen, ook vertegenwoordigers zitting uit het onderwijsveld en van de vervolgoopleidingen (ACLO-N, CITO, NVON, NLO's, ULO's). Aan het HBB-project wordt vanaf het begin deelgenomen door vier proefscholen<sup>2</sup>. Op deze proefscholen wordt het ontwikkelde lesmateriaal op zijn bruikbaarheid getoetst en van commentaar