

## **„HALO”**

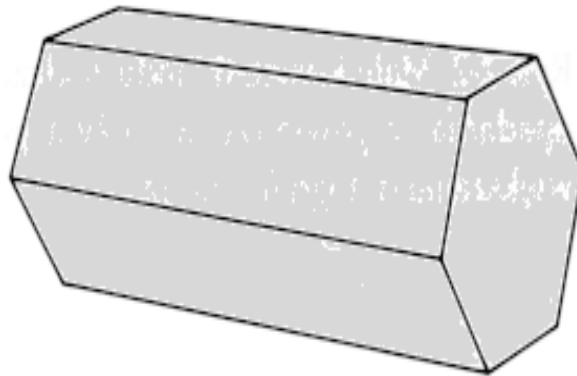
Halo jest jednym z ciekawych zjawisk optycznych na niebie i powstaje na skutek załamania światła w chmurze zawierającej kryształki lodu. Występuje jako barwny, biały lub w przeważającej części biały, świetlisty pierścień, w którego środku znajduje się tarcza Słońca lub Księżyc. Krąg ten ma zwykle słabo widoczne zabarwienie czerwone od wewnątrz i w rzadkich przypadkach fioletowe na zewnątrz. Część nieba wewnątrz kręgu jest wyraźnie ciemniejsza niż na zewnątrz. Pierścień o średnicy  $22^{\circ}$  (tzw. małe halo) powstaje przez załamanie na powierzchniach kryształków o kącie łamiącym  $60^{\circ}$ , natomiast o średnicy  $46^{\circ}$  (rzadziej występuje tzw. duże halo) powstaje podczas załamania światła na krawędziach kryształków wzajemnie do siebie prostopadłych (kryształki lodu są graniastosłupami prostymi o podstawie sześciokątnej). Zjawisko halo występuje przy chmurach typu Cirrus.

Zimą rzadko widzimy tęcze, ponieważ w niskich temperaturach kuliste kropelki wody zamieniają się w wielościenne kryształki lodu. Zwiększa to bogactwo obserwowanych na niebie zjawisk, od codziennych do niezmiernie rzadkich.

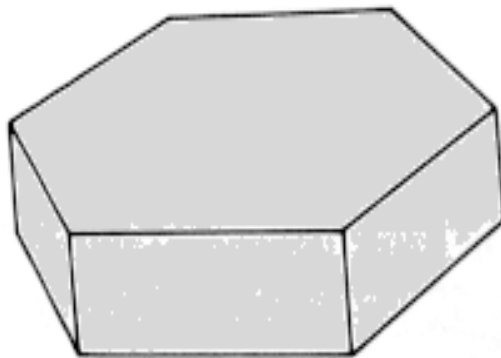
### **Kryształy prostych kryształów lodu**

Najczęściej spotykane przez nas kryształki lodu to płatki śniegu o skomplikowanych kształtach. Występują one zwykle w klimacie umiarkowanym w pobliżu gruntu, ale przy odpowiedniej wilgotności i temperaturze na większych wysokościach kryształki lodu mogą przyjmować znacznie prostsze kształty. Zaliczamy do nich kryształy o przekroju sześciokątnym, które powodują powstanie wielu zadziwiających zjawisk na niebie. Kryształki lodu o kształcie graniastosłupów sześciokątnych mogą różnić się stosunkiem długości do szerokości. Jedne są podłużne tj. kryształ ołówkowy (rys. 1a), inne płaskie tj. kryształ płytkowy (rys.1b). Ta różnica ma istotne znaczenie dla powstawania zjawisk optycznych w atmosferze. Takie kryształy obserwuje się w okolicach bieguna południowego na Antarktydzie. W rejonach o bardziej umiarkowanym klimacie takie same kryształy występują na dużych wysokościach (ponad 3000 m n.p.m.) Można je spotkać nawet latem,

gdyż temperatura powietrza na dużych wysokościach może wynosić kilka stopni poniżej zera i obserwujemy wówczas chmury kryształków wywołujących tzw. zjawisko halo.



Rys. 1a. Struktura przestrzenna kryształu ołówkowego (słupkowego) i kryształu płytkowego



Rys. 1b. Struktura przestrzenna kryształu płytkowego

## Halo 22-stopniowe

Zjawisko halo związane jest z załamaniem się światła słonecznego przechodzącego przez kryształki lodu. Światło słoneczne może przechodzić przez obie ścianki boczne kryształu albo przez jedną ściankę boczną i podstawę. Promień światła przechodzący przez co drugą ściankę kryształu ołówkowego zostaje załamany tak, gdyby wędrował przez 60-stopniowy pryzmat lodowy. Kąt odchylenia zależy od ustawienia (orientacji) kryształu. Dla 60-stopniowego pryzmatu minimalny kąt załamania wynosi  $22^{\circ}$ , kiedy promienie światła przechodzą symetrycznie (rys. 2). Niewielkie obroty kryształu wokół tego ustawienia prawie nie wpływają na odchylenie światła. Przy innych ustawieniach kąt załamania jest większy.

Gdy światło przechodzi przez dowolnie zorientowane kryształy, następnie koncentracja promieni odchylonych o kąty bliskie 22 stopniom, co łatwo można uzasadnić (patrz poniżej).



Rys. 2. Bieg promienia w pryzmacie dla kąta najmniejszego odchylenia

Kąt łamiący pryzmatu  $\delta$  wiąże się z kątem najmniejszego odchylenia  $\theta$  następującą zależnością:

$$\sin \frac{\delta + \theta}{2} = n \cdot \sin \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots(1)$$

Po podstawieniu do wzoru (1)  $\delta=60^\circ$  i współczynnika załamania lód-powietrze  $n \approx 1,31$ , mamy:

$$\sin \frac{60^\circ + \theta}{2} \approx 1,31 \cdot \sin \frac{60^\circ}{2} = 1,31 \cdot 0,5 = 0,655 \dots\dots\dots(2)$$

Ze wzoru (2) obliczamy  $\theta$  :

$$\theta \approx 22^\circ \dots\dots\dots(3)$$

W wyniku załamania światła słonecznego przez dużą liczbę wirujących w powietrzu, przypadkowo ustawionych kryształów lodu powstaje wokół Słońca pierścień, którego wewnętrzny promień katowy ma  $22^\circ$  (3). Jest to tzw. halo. Można zauważyć czerwone zabarwienie wewnętrznego brzegu halo. Kąt minimalnego odchylenia światła czerwonego jest mniejszy niż zielonego, czy niebieskiego. Czerwony wewnętrzny brzeg przechodzi w pasmo żółte, a potem w główny biały pas, w którym kolory nakładają się na siebie. Halo 22-stopniowe ma zawsze te same rozmiary katowe.



Fot. 1. Pełne 22-stopniowe halo w Wisconsin [2]



Fot. 2. Fragment 22-stopniowego halo sfotografowanego w Wisconsin [2]

### **Halo 22-stopniowe słońca poboczne**

Do powstania pełnego halo potrzebne są kryształki lodu ustawione w powietrzu pod wszystkimi możliwymi kątami, aby dla każdej części halo istniały kryształki o takiej

orientacji, że załamane przez nie światło dociera do oka obserwatora. Kryształki lodu nie zawsze jednak opadają w przypadkowych ustawieniach. Kryształ płytkowy najchętniej ustawia się tak, żeby krótsza oś była prostopadła do kierunku opadania, a większe płaskie podstawy prawie poziome. Gdy Słońce znajdzie się nisko na niebie, orientacja tych kryształów spowoduje, że będą one załamywać światło w kierunku obserwatora z bocznych części halo, a nie z jego wierzchołka. Powstaje wtedy zjawisko zwane fałszywym słońcem, towarzyszem Słońca lub słońcem pobocznym. Im lepsze ustawienie kryształków tym mniejsze i jaśniejsze będą plamy, które pojawiają się po obu stronach Słońca. Niekiedy ich natężenie jest duże, a pozorna wielkość jest porównywalna z wielkością Słońca. Gdy dokładniej przyjrzymy się powiększonemu słońcu pobocznemu na barwnej fotografii, dostrzeżemy czerwone, pomarańczowe, żółte, zielone i niebieskie części widma pięknie uwidocznione na tle niewielkiej pierzastej chmurki. Przyczyny tego, że widzimy pełniejszy zakres widma w słońcu pobocznym niż w pozostałej części halo są dość złożone.



Fot. 3. Zachodzące Słońce i 22-stopniowe słońce poboczne [2]

### **Górne łuki styczne do 22-stopniowego halo**

Czasami oprócz słońc pobocznych i 22-stopniowego halo widoczny jest jeszcze jaśniejszy obszar światła nad górną częścią halo. Zjawisko to jest dosyć częste i zwykle przyjmuje formę osobnego łuku, stycznego do szczytu halo, ale mającego zupełnie inną krzywiznę.

Wygląd łuku zależy od wysokości Słońca nad horyzontem. Podstawowa praca poświęcona tym łukom została opublikowana w latach 20-tych ubiegłego stulecia przez dwóch naukowców niemieckich - Perntera i Exnera. Autorzy doszli do wniosku, że łuki są tworzone przez opadające kryształy, których długie osie ustawiają się poziomo.



Fot. 4. Górny łuk styczny do 22-stopniowo halo sfotografowany w stanie Wisconsin. Słońce znajduje się na wysokości  $2^{\circ}$  [2]

### **Łuki Parry'ego i łuki Lowitza**

Oprócz opisanych zjawisk występują również dwa rzadkie zjawiska, również spowodowane załamaniem światła w kryształkach lodu. Nazwy tych zjawisk zawdzięczamy osobom, które po raz pierwszy je opisywały na tyle dokładnie, że zainteresowały późniejszych obserwatorów. Chodzi o łuki Parry'ego i łuki Lowitza. W latach 1819 i 1820 W. E. Parry podczas wyprawy arktycznej w poszukiwaniu Przejścia Północno-Zachodniego opisywał swoje obserwacje roślinności, zwierząt, mieszkańców, geologii, hydrologii i meteorologii. Odnotowywał również oglądane w czasie wyprawy zjawiska na niebie. Między innymi opisał łuk pojawiający się nad Słońcem. Powstawanie łuków Perry'ego przypisuje się światłu przechodzącemu przez co drugą boczną ściankę kryształów ołówkowych, których orientacje są ograniczone do znacznie mniejszego przedziału niż w przypadku łuków stycznych czy halo. Łuki Lowitza są trudniejsze do wyjaśnienia. Nazwę zawdzięczają Tobiasowi

Lowitzowi, który opublikował szczegółowy opis tego zjawiska zaobserwowanego w 1790 roku na niebie w Sankt Petersburgu w Rosji. Najbardziej prawdopodobnym wytłumaczeniem pochodzenia łuków Lowitza jest hipoteza sugerująca, że za ich powstawanie odpowiedzialne są kryształy płytkowe, wirujące podczas opadania.



Fot. 5. Górny łuk styczny z wyraźnie zarysowanym nadslonecznym łukiem Parry'ego [2]

## **Halo 46-stopniowe**

Do innych rzadkich zjawisk należy halo 46-stopniowe. Poprzednio opisywaliśmy zjawiska powstające podczas przejścia światła przez co drugą ściankę boczną heksagonalnego kryształu lodu. Zjawiska te są oparte na prawach przechodzenia światła przez 60-stopniowy pryzmat lodowy. Okazuje się, że przez ten sam kryształ światło może przechodzić tak jak przez pryzmat 90-stopniowy. W pryzmacie o kącie łamiącym 90 stopni kąt najmniejszego odchylenia światła wynosi 46 stopni. Halo 46-stopniowe występuje znacznie rzadziej niż halo 22-stopniowe, ponadto jest trudno zauważalne, gdyż trudno jest obserwować zjawisko obejmujące tak duży obszar nieba.



Fot. 6. Halo opisane. Słońce znajduje się na wysokości  $48^{\circ}$  [2]

#### **Literatura:**

- [1] Bułat W., *Zjawiska optyczne w przyrodzie*, WSiP, Warszawa 1987.
- [2] Greenler R., *Tęcze, glorie i halo czyli niezwykle zjawiska optyczne w atmosferze*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
- [3] Libner P., Stefaniak G., *Geografia od A do Z. Repetytorium*, Wydawnictwo KRAM, Warszawa 1997.
- [4] Mergentaler J., *Słońce-Ziemia*, Wydawnictwo Wiedza Powszechna (seria Omega), Warszawa 1994.
- [5] Szatkowski K., *Świetlne widowiska na niebie*, Vademecum miłośnika astronomii (kwartalnik), nr. 2(46), 2002.