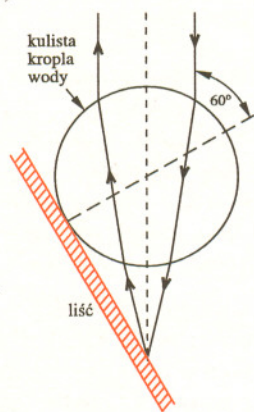
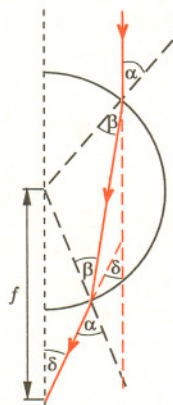


Rys. 1. Powstawanie zjawiska „Heiligenschein” według Lommel’a (1874 r.).



Rys. 2. Powstawanie zjawiska „Heiligenschein” według Mattssona (1972 r.).



Rys. 3. Połowa kulistej kropli wody o promieniu R . Promień światła padający na kroplę pod kątem α po dwukrotnym załamaniu ulega odchyleniu o kąt δ . Ogniskowa jest równa

$$f = \frac{\sin \alpha}{\sin \delta} R$$

i w ogólnym przypadku zależy od kąta α . Dla małych kątów padania mamy

$$f \approx \frac{\alpha}{\delta} R = \frac{\alpha R}{2(\alpha - \beta)} = \frac{\alpha R}{2(\alpha - \alpha/n)} = \frac{nR}{2(n-1)},$$

gdzie n jest współczynnikiem załamania światła. Dla wody $n \approx 1,3$, $f \approx 2R$.

W czasie gdy byłem w więzieniu, miałem straszny sen... Nadto zdarzyło mi się coś, czego pominąć nie mogę, bo większa rzecz nie zdarzyła się nikomu z ludzi: dowód, że wszechmoc boska rozgrzeszyła mnie sama i uznała godnym objawienia mi swoich tajemnic. Mianowicie od czasu, gdy miałem to widzenie, pozostawał mi wokół głowy przedziwny blask, widoczny dla każdego, komu pokazać go uznałem za stosowne; takich jednak było niewielu.

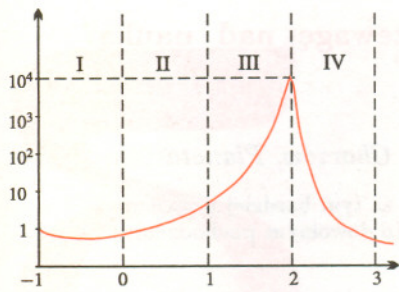
Blask ten widać rankiem nad moim cieniem od wschodu słońca przez dwie godziny. Najlepiej widać go, gdy lekka rosa leży na trawie; widać go jednak również wieczorem o zachodzie słońca. Spostrzegałem go w Paryżu, we Francji, bo powietrze w tamtej okolicy jest wolniejsze od mgieł, więc widać go było daleko lepiej niż we Włoszech, gdzie mgły są o wiele częstsze. Mimo to widuję go wszędzie i mogę pokazać go też innym, jednak nie tak wyraźnie jak w owej okolicy.

Benvenuta Celliniego żywot spisany przez niego samego (przełożył Leopold Staff)

Tak oto z wrodzoną sobie skromnością wielki renesansowy rzeźbiarz i złotnik opisał zjawisko zwane „Heiligenschein” (niem. aureola, dosłownie: certyfikat świętości), które obserwował w 1562 roku. Polega ono na powstawaniu bezbarwnej aureoli wokół cienia (wyłącznie) głowy obserwatora, jeśli cień pada na pokrytą rosą łąkę. W tym całkiem poprawnym opisie jedna rzecz jest nieprawdziwa: aureolę można obserwować jedynie wokół cienia własnej głowy.

Możemy wykonać bardzo proste doświadczenie, które pozwoli zrozumieć naturę „Heiligenschein”. Potrzebna jest kulista, szklana kolba wypełniona wodą, kartka białego papieru i silne źródło światła. Można wykorzystać światło słoneczne albo rzutnik do slajdów. Kolbę należy umieścić w strumieniu światła i obserwować w kierunku punktu przeciwsłonecznego, to znaczy wzdłuż padających promieni, mając Słońce (rzutnik) za plecami. Kartkę białego papieru należy umieścić za kolbą w odległości od środka równej w przybliżeniu średnicy kolby. Optymalne położenie kartki należy dobrać eksperymentalnie tak, by uzyskać możliwie jak najlepsze zogniskowanie światła na kartce. Patrząc w kierunku punktu przeciwsłonecznego lub w kierunku nieznacznie różniącym się od kierunku padających promieni zauważymy, że kolba jest jasno oświetlona promieniami odbitymi od kartki. Przy większej zmianie kąta obserwacji zjawisko znika. Dzieje się tak dlatego, że kolba działa jak soczewka, ogniskując na kartce padające promienie, a z promieni odbitych tworzy wiązkę równoległą o takim samym kierunku jak kierunek promieni padających. Ponieważ kolba nie jest idealną soczewką, promienie padające pod dużym kątem są ogniskowane w nieco innym punkcie niż promienie padające pod małym kątem, z tego powodu wiązka odbita jest nieco rozbieżna.

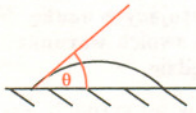
Pierwsze naukowe wyjaśnienie „Heiligenschein” podał w 1795 roku Winterfeld. Każda szorstka powierzchnia odbijająca światło jest najjaśniejsza, gdy oglądamy ją wzdłuż padających promieni, ponieważ każda jej nierówność oglądana z takiej perspektywy zakrywa obszary swojego cienia. Jest to rozumowanie poprawne, choć niepełne. Dotyczy ono tak zwanego suchego zjawiska „Heiligenschein”, trudnego do zauważenia i jeszcze trudniejszego do sfotografowania z powodu małych kontrastów świetlnych. We właściwym zjawisku „Heiligenschein”, tym, które opisał Cellini, podstawową rolę odgrywają kropelki rosy pokrywające trawę i liście roślin.



Rys. 4. Stosunek natężenia światła odbitego wstecz od liści pokrytych kropelkami wody do natężenia światła odbitego od niezroszonych liści jako funkcja odległości środka kropelki od liścia. Wyniki uzyskane przy założeniu, że kropelka wody załamuje światło jak cienka soczewka.

Wykres pochodzi z pracy: Alistair Fraser „The sylvanshine: refroreflection from dew-covered trees” *Applied Optics*, vol. 33, no 21 (1994).

I) Kropelki o kącie zwilżania θ pomiędzy 0 a 90 stopni.



II) Kropelki o kącie zwilżania θ pomiędzy 90 a 180 stopni.



III) i IV) Kropelki zawieszane nad powierzchnią liścia w odległości mniejszej (III) i większej (IV) niż ogniskowa.



Działają one jak szklana kolba w opisanym powyżej doświadczeniu, rolę kartki odgrywają liście. W doświadczeniu kartka znajdowała się w pewnej odległości od kolby. Krople rosy także mogą znajdować się nie bezpośrednio na listkach, ale ponad nimi. Tak jest wtedy, gdy liście pokryte są drobnymi włoskami, na których osadza się rosa (rys. 1). To tłumaczy, dlaczego nie na każdej łące można oglądać „Heiligenschein”. Powyższe wyjaśnienie zostało po raz pierwszy podane w 1874 roku przez Lommela. W 1824 roku Brandes podał inne wyjaśnienie, tłumacząc zjawisko odbiciem (wewnętrznym i zewnętrznym) światła przez krople rosy. Wyjaśnienie to jest niepoprawne, a mimo to można je znaleźć w literaturze do dziś. Całkiem niedawno, bo w 1972 roku Szwed Mattsson zauważył, że w pewnych warunkach także rośliny, których liście nie są pokryte włoskami, mogą być źródłem aureoli. Dzieje się tak, gdy rosa nie zwilża liści tworząc na nich kuliste kropelki, a światło pada pod kątem 60° (szczegóły przedstawia rysunek 2).

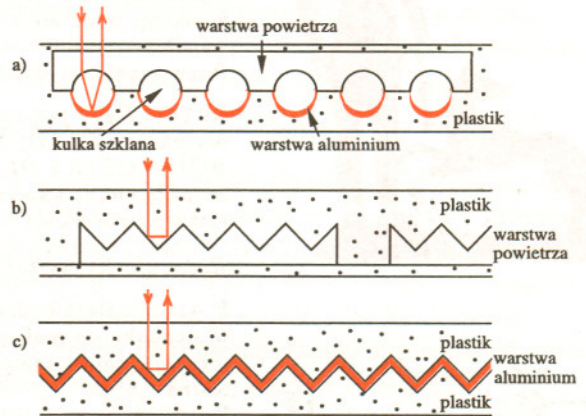
Zdumiewające jest, że choć zjawisko „Heiligenschein” jest znane od bardzo dawna, a od stu lat istnieje jego proste wytłumaczenie, to wszystkie wyjaśnienia (zarówno poprawne, jak i błędne) mają jedynie jakościowy charakter. W bogatej literaturze poświęconej optyce atmosferycznej udało mi się znaleźć zaledwie jeden (sic!) artykuł analizujący zagadnienie od strony ilościowej.

A co to wszystko ma wspólnego z tytułowymi kocimi oczami?

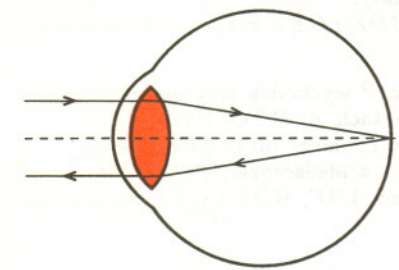
Otóż wiele. Każdy, kto ma w domu czworonoga (wszystko jedno – kota czy psa) wie, że w ciemności zwierzakowi oczy się „świecą”. Oczywiście, nie jest to prawdziwe świecenie, jest to światło odbite przez siatkówkę oka, a czerwone zabarwienie pochodzi od barwnika zwanego purpurą wzrokową, który jest istotnym czynnikiem procesu widzenia. Niewielka zmiana położenia obserwatora lub ruch oczu naszego ulubieńca, i zjawisko znika. Nie jest ono typowe wyłącznie dla zwierząt, o czym możemy się łatwo przekonać oglądając zdjęcia robione przy użyciu lampy błyskowej. Niejednemu fotoamatorowi śnią się po nocach te czerwone źrenice! Wyeliminowanie owego nieco koszmarne, a na pewno irytującego efektu, jest dość proste; wystarczy odsunąć lampę błyskową od obiektywu lub też skierować jej światło w bok zamiast na fotografowanego. Każdy uważny Czytelnik będzie potrafił wyjaśnić, dlaczego.

To samo zjawisko, które jest ciekawostką na łące, niepożądanym artefaktem w fotografii, ma całkiem inne praktyczne zastosowanie. Powierzchnia odbłaskowego znaku drogowego pokryta jest mikroskopijnymi szklanymi kulkami. Ponieważ szkło ma większy współczynnik załamania niż woda, światło zostaje zogniskowane już na granicy szkła i podłoża (odstęp taki jak dla wody jest niepotrzebny), a po odbiciu ma kierunek prawie taki sam jak ten, z którego padało, o czym najlepiej można przekonać się nocą na szosie. (Współczynnik załamania kulek powinien być równy 2.) Gwoli ścisłości dodać trzeba, że nie jest to jedyne rozwiązanie stosowane w budowie znaków odbłaskowych.

Rys. 6. Powierzchnia znaku odbłaskowego pokryta kulkami ze szkła o współczynniku załamania $n = 2$ (rys. a). Promienie reflektorów samochodowych padające na znak ogniskowane są w odległości $f \approx R$ od środka kuli (rys. 3) i odbite w kierunku nadjeżdżającego samochodu. Rysunki b i c pokazują inne rozwiązania stosowane w znakach odbłaskowych.

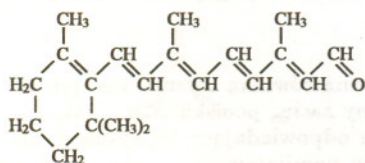


Charakterystyczną cechą „Heiligenschein” jest to, że (jak słusznie podkreśla Cellini) można je oglądać jedynie wcześniej rano lub przed zachodem słońca. W ciągu dnia moglibyśmy je zobaczyć jedynie na pochyłym górnym stoku lub z pokładu samolotu. Wyjaśnienie, dlaczego tak jest, pozostawiam dociekliwości Czytelnika.



Rys. 5. Świecenie kocich (i nie tylko) oczu w ciemności.

Barwniki wzrokowe zbudowane są z różnych odmian retinenu (aldehid witaminy A) i białka zwanego opsyną. W pręcikach siatkówki występuje rodopsyna (purpura wzrokowa), która pod wpływem światła rozkłada się na żółty karotenoid i bezbarwne białko – skotopsynę.



Budowa chemiczna retinenu.