

## Iryzacja

Większość ludzi nie doświadcza żadnych trudności w postrzeganiu kolorów, może się więc wydawać, że mechanizm widzenia barwnego jest bardzo prosty. Z tego powodu niektóre z „wynałasków przyrody” mogą nas bardzo zaskoczyć. Na przykład, czy możliwe, żeby skrzydła motyla rodzaju *Morpho* lub owoce rośliny *Pollia condensata* nie zawierały ani odrobiny niebieskiego barwnika? Jeśli tak, to skąd bierze się ich intensywny metaliczny kolor?



Rys. 1. Motyl *Morpho*



Rys. 2. Roślina *Pollia condensata*

## Barwy pigmentowe i strukturalne

Kolor zależy przede wszystkim od składu chemicznego danego przedmiotu i jego mikroskopowej struktury. Wpływa na niego także rodzaj padającego światła, cechy indywidualne ludzkiego oka lub innego przyrządu rejestrującego światło (klisza fotograficzna w tradycyjnych aparatach, matryca CCD w aparatach cyfrowych). Barwa, którą obserwujemy, powstaje w wyniku oddziaływania światła z oświetlanym przedmiotem. W zależności od tego, co dzieje się z padającym na przedmiot światłem, powstający kolor określa się jako *pigmentowy* lub jako *strukturalny*.

Światło padające na przedmiot nieprzezroczysty jest częściowo pochłaniane, a częściowo odbijane od powierzchni przedmiotu. Odbite światło padające na siatkówkę oka pobudza znajdujące się w niej światłoczułe komórki, co wywołuje wrażenie koloru. Komórki siatkówki wrażliwe są na światło w całym zakresie widzialnym – od czerwieni do fioletu. Kolor obserwowanego przedmiotu zależy więc od barwy odbitego od obiektu światła. Nosi on nazwę *koloru pigmentowego*, ponieważ zależy on od wchodzących w skład przedmiotu substancji barwiących, wybiórczo pochłaniających niektóre z kolorów padającego światła. Jeśli do oświetlenia użyjemy światła białego, to światło odbite będzie miało barwę dopełniającą w stosunku do barwy pochłoniętej. Na przykład skórka banana zawiera substancje pochłaniające światło niebieskie, a mieszanina odbitych kolorów daje wrażenie koloru żółtego. Pary barw dopełniających można łatwo określić przy użyciu tzw. *koła barw*. Kolory dopełniające znajdują się po przeciwnej stronie środka koła, na przykład czerwony-cyjan, zielony-magenta, niebieski-żółty.



Rys. 3. Koło barw

W przypadku przedmiotów przezroczystych pochłanianie światła w zakresie widzialnym zachodzi jedynie w niewielkim stopniu. Przedmioty takie mogą na przykład pochłaniać promieniowanie ultrafioletowe (szkło) lub podczerwone (woda). Światło wnikające do wnętrza przedmiotu jest częściowo pochłaniane, jednak w dużym stopniu przechodzi ono przez substancję. Na przykład większość szkieł przepuszcza 80–90% światła. Przezroczyste przedmioty wydają się pozbawione koloru, ponieważ przechodzące przez nie światło zawiera wszystkie barwy wchodzące w skład światła padającego. Dzięki temu krajobraz oglądany przez okno ma takie same barwy, jak oglądany bezpośrednio.

W szczególnych przypadkach, jeśli przezroczysty materiał składa się z uporządkowanych struktur w postaci mikroskopijnych warstw przezroczystych substancji, może dojść do tzw. *interferencji w cienkich warstwach*. Zjawisko to odpowiedzialne jest za tęcze ubarwienie baniek mydlanych, plam benzyny, niektórych minerałów (np. aragonitu wchodzącego w skład macicy perłowej), a także skrzydeł niektórych motyli, pancerzy owadów, ptasich piór (np. piór pawia) i gadzich łusek. Efekt ten nosi nazwę *iryzacji, tęczowania* lub *ubarwienia strukturalnego*.



Rys. 4. Plama benzyny



Rys. 5. Macica perłowa

W przeciwieństwie do barw pigmentowych kolory strukturalne nie bledną z czasem. Obserwowany kolor zależy natomiast od ośrodka, w którym znajduje się przedmiot (a dokładniej od współczynnika załamania światła tego ośrodka) i ulega zmianie w zależności od kąta padania światła.

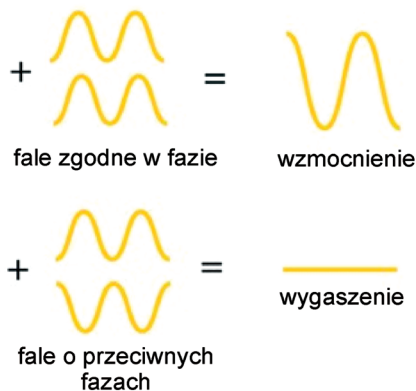


Rys. 6. Zależność barwy strukturalnej od rodzaju ośrodka, w którym znajduje się obserwowany przedmiot

### **Interferencja w cienkich warstwach**

Zjawisko interferencji można zaobserwować w przypadku wszystkich rodzajów fal, zarówno mechanicznych, takich jak fale na wodzie, jak i elektromagnetycznych, takich jak światło. Interferencja polega na nakładaniu się fal, co może prowadzić do miejscowego wzmocnienia lub wygaszenia fali. Jeśli w danym

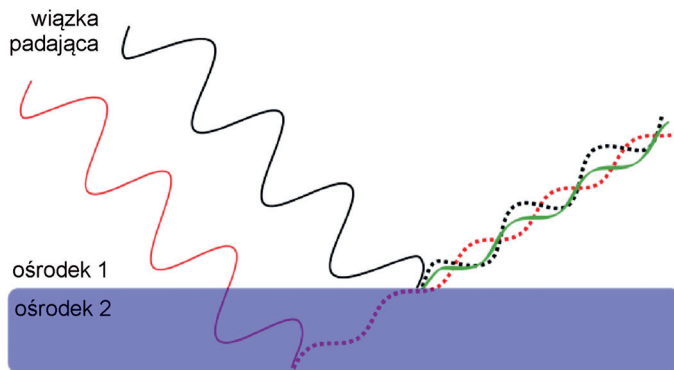
punkcie przestrzeni spotkają się grzbiety dwóch fal, to mówi się, że fale te są zgodne w fazie i w wyniku ich nakładania następuje wzmocnienie fali. Jeśli natomiast grzbiet jednej z fal napotka dolinę drugiej (fale o przeciwnych fazach), dochodzi do wygaszenia fali. Jeśli fale nie są ani zgodne, ani przeciwne w fazie, ich nakładanie się powoduje częściowe osłabienie lub wzmocnienie fali.



Rys. 7. Interferencja fal zgodnych i przeciwnych w fazie

W przypadku fal świetlnych wzmocnienie oznacza wzrost intensywności światła, a całkowite wygaszenie oznacza brak światła.

W przypadku, gdy światło pada na powierzchnię cienkiej warstewki przezroczystego materiału, promienie odbite od górnej granicy ośrodków mogą interferować z promieniami ulegającymi odbiciu od dolnej granicy.

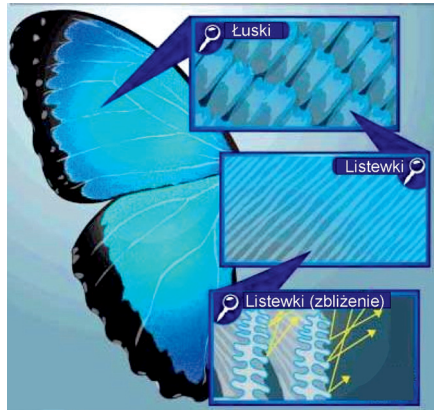


Rys. 8. Interferencja w cienkiej warstwie

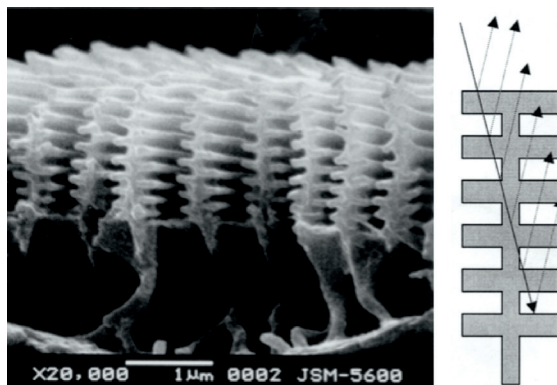
Jeśli oświetlimy warstwę światłem białym to, w zależności od grubości warstwy i kąta padania światła, niektóre z kolorów ulegną wzmocnieniu, a inne osłabieniu. Jeśli jakiś kolor ulegnie całkowitemu wygaszeniu, to efekt będzie taki sam, jak gdyby kolor ten uległ pochłonięciu w ośrodku. W wyniku wzmocnienia jednych kolorów i osłabienia innych, wiązka docierająca do oka obserwatora nie będzie więc białą. W przypadku, gdy warstwa przezroczystego materiału nie ma stałej grubości, tak jak w przypadku baniek mydlanych lub plam benzyny, można zaobserwować prążki o różnych kolorach.

### Zagadka metalicznych kolorów

Jednym z najbardziej spektakularnych przykładów ubarwienia strukturalnego są skrzydła motyla rodzaju *Morpho*. Jego skrzydła pokryte są tysiącami drobnych łusek zbudowanych z cienkich przezroczystych warstewek chityny oddzielonych warstwami powietrza. Warstwy chityny mają postać tzw. listewek o regularnym kształcie. Padające na listewki światło ulega wielokrotnej interferencji, co prowadzi do znacznego wzmocnienia światła niebieskiego i intensywnego koloru skrzydeł motyla.



Rys. 9. Schemat budowy skrzydeł motyla *Morpho*



Rys. 10. Obraz listewek wykonany przy użyciu elektronowego mikroskopu transmisyjnego i schemat interferencji wielowarstwowej



W przypadku rośliny *Pollia consensata* ścianki komórek zbudowane są z ciasno zwiniętych włókien celulozy tworzących regularne struktury na powierzchni owocu. Również w tym przypadku intensywny tęczyowy połysk jest wynikiem wielokrotnej interferencji w cienkich warstwach.