

mata delta

Oko

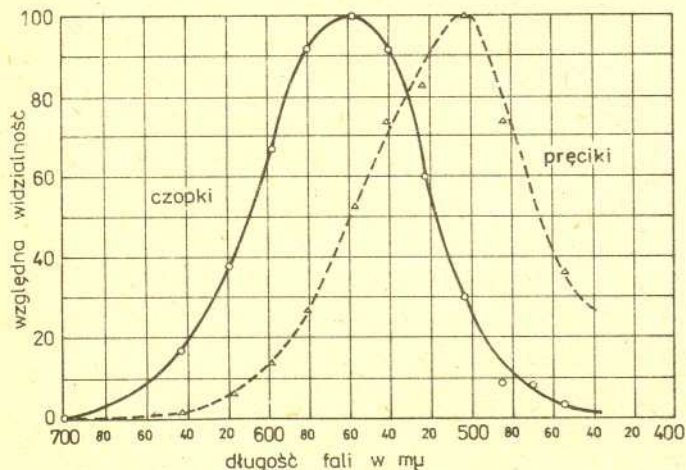


Ruch oczu jest warunkiem koniecznym, aby widzieć. Gdy obserwujemy przedmiot, poruszamy oczami. Ruch oczu odbywa się skokowo. Jeżeli oczy zatrzymałyby się na jakimś przedmiocie, to po kilku sekundach zanikłyby impulsy przekazywane do mózgu. Okazuje się, że powstawanie impulsów jest możliwe jedynie przy zmianach natężenia światła padającego na receptory. Dlatego porażenie mięśni gałki ocznej powoduje ślepotę, nawet przy sprawnym oku.

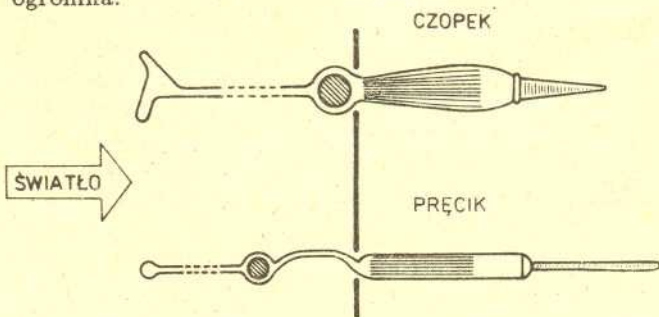
Miejsce, w którym do gałki ocznej wnika nerw wzrokowy, nazywa się plamką ślepą – padające tam fotony nie są rejestrowane. Miejsce najbardziej wrażliwe na światło zwane jest plamką żółtą. Człowiek ma jedną taką plamkę (w każdym oku). Tyleż mają ptaki śpiewające, gołębie, kury czy dzięcioły. Ale już dwie mają ptaki drapieżne, jerzyki, zimorodki i papugi. Rekordzistami są jaskółki i rybitwy – mają po trzy żółte plamki.

W plamce żółtej (punkcie, przez który przechodzi oś optyczna oka) znajdują się same czopki. Jest to najbardziej czuły obszar widzenia barwnego. Gdy chcemy zobaczyć coś dokładnie, staramy się, aby obraz oglądanego przedmiotu padał na plamkę żółtą. Ale w ciemności, gdy patrzymy „na wprost”, nasze widzenie nie jest tak ostre, jak przy patrzeniu na bok. Słabo oświetlone obiekty można lepiej zobaczyć patrząc na nie z boku, gdyż w plamce żółtej nie ma czulszych pręcików.

Największe zagęszczenie czopków w siatkówce człowieka wynosi 20 sztuk na $100 \mu\text{m}^2$. W siatkówce myszolewa na tej samej powierzchni zdarza się ich do 100 sztuk.



Oko jest wspaniałym przyrządem optycznym. Potrafi przystosować się do dużego, jak i małego natężenia światła. Możemy obserwować przedmioty oświetlone jaskrawym światłem słonecznym, ale też możemy postrzegać przedmioty w ciemnościach, przy miliony razy słabszym natężeniu światła. Żaden aparat fotograficzny nie może konkurować z takim przyrządem. Tęczówka zmieniająca średnicę źrenicy pozwala tylko w niewielkim stopniu regulować strumień światła wpadającego do oka. Tak duża zdolność oka do przystosowania się do zmian oświetlenia jest możliwa dzięki złożonej budowie siatkówki, na której powstają obrazy oglądanych przedmiotów. Składa się ona z dwóch rodzajów receptorów - pręcików i czopków. Ich liczba jest ogromna.



Liczba czopków oceniana jest na kilka milionów, a pręcików - na kilkadziesiąt milionów. Czopki wykonują swe funkcje przy dobrym oświetleniu i umożliwiają widzenie barwne. Przy słabym oświetleniu oko przełącza się na odbiór czulszymi pręcikami, które pozwalają dostrzegać jedynie odcienie szarości. Dlatego też o zmierzchu wszystko wydaje się nam szare. Oczywiście, to przełączenie nie jest gwałtowne. Wraz ze spadkiem oświetlenia zmienia się też stopniowo czułość oka na barwy. W ciągu dnia oko jest najbardziej czułe na światło zielone o długości fali 560 nm. O zmroku maksimum czułości przesuwają się w stronę fal krótszych i przypada na fale o długości 510 nm.

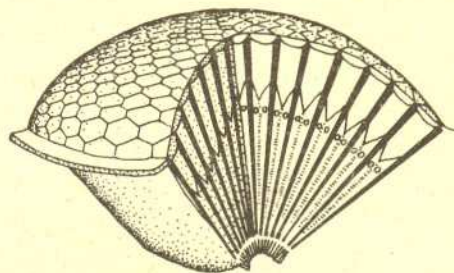
Wiedząc o tym możemy zrozumieć szereg zjawisk. Być może niektórzy z Was zwrócili uwagę, że przedmioty żółte i czerwone, bardzo dobrze widoczne w świetle dziennym na tle zielonych czy niebieskich, o zmroku wydają się znacznie ciemniejsze, prawie czarne. Obserwacje te możecie przeprowadzić szczególnie teraz wychodząc do ogrodu i obserwując zmiany postrzeganych natężeń barw kwiatów i liści o zachodzie Słońca. W ciągu dnia żółte i czerwone kwiaty wydają się jaśniejsze od liści. Po zachodzie Słońca liście wydają się jaśniejsze od kwiatów. Odwrotny efekt obserwuje się dla kwiatów niebieskich i fioletowych. Przez teleskopy prawie zawsze widzimy „biało-czarne” obrazy słabych mgławic. Ale na kolorowych zdjęciach widać barwy, jakich nikt okiem nie obserwował. Nie są to barwy sztuczne, po prostu natężenie światła jest zbyt małe, aby zareagowały na nie czopki w naszym oku. Omawiane zjawisko nosi nazwę efektu Purkiniego.

Czy zastanawiałeś się, dlaczego oko nie jest czułe na promieniowanie elektromagnetyczne spoza zakresu światła widzialnego, tj. od 400 do 760 nm? Promieniowanie o długości fali mniejszej niż 400 nm jest niebezpieczne dla oka. Rogówka i soczewka pochłaniają to promieniowanie chroniąc przed nim siatkówkę. Z kolei kwanty promieniowania podczerwonego o długości fali większej niż 760 nm mają zbyt małą energię, aby pobudzić receptory.

Prawdę mówiąc lepiej, żeby oko nie było czułe na podczerwień. Powód jest bardzo prosty. Każdy przedmiot nie tylko pochłania, ale i emituje światło. Ciało nasze, w tym i oko, emituje światło, którego maksimum przypada na fale o długości 9000 nm. Aby uprościć analizę, potraktujmy nasze oko jako ciało doskonale czarne ogrzane do temperatury 310 K (37° C). Według prawa Stefana-Boltzmana natężenie promieniowania E jest proporcjonalne do T^4 i wynosi 510 W/m². Stąd strumień światła emitowany przez wewnętrzną warstwę oka, której powierzchnia wynosi około 17 cm², jest równy $\Phi = ES = 0,867$ W. Dla porównania, całkowita moc świecy w zakresie widzialnym jest rzędu 1 W. W odległości 1 m od świecy strumień światła wpadający do oka przez źrenicę o promieniu 1 mm wynosi $\Phi = 1 \text{ W} \cdot (10^{-3} \text{ m}/1 \text{ m})^2 = 10^{-6}$ W. Jest więc milion razy słabszy od strumienia emitowanego przez oko. Oko samo by się oślepiło!

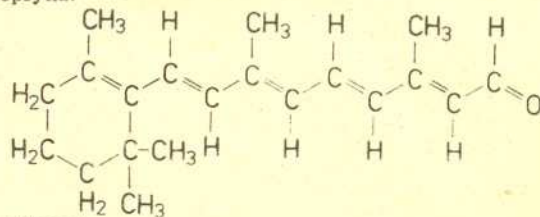
Na podstawie: Wikientij Bułat *Zjawiska optyczne w przyrodzie*.

Owady mają oczy pojedyncze lub złożone, przy czym niektóre (np. część motyli, pluskwiaki, karaluchy, pewne muchy) mają oczy i takie, i takie. Oko złożone składa się z różnej liczby pojedynczych oczek (od 13 u much krwiozerczych do 12 746 u ważek). Natomiast każde z pojedynczych oczek ma dokładnie 7 komórek siatkówki (receptorów światła).



Złożone oczy owadów są dwóch rodzajów: apozycyjne i superpozycyjne. Te pierwsze składają się z wielkiej liczby specjalnych komórek, zwanych fasetkami (ommatidia), ułożonych stożkowo na powierzchni kulistej. Komórki wzrokowe znajdują się w głębi fasetek i dlatego odbierają światło wtedy, gdy pada wzdłuż osi optycznej lub pod niewielkim do niej kątem. Odległość od źródła światła owady określają na podstawie liczby fasetek, które odbierają światło. Układ fasetek pozwala owadom dosyć dokładnie ocenić prędkość poruszania się przedmiotów. Oko złożone owadów posłużyło za wzór do budowy prostego przyrządu do szybkiego oceniania prędkości samolotów. W oczach superpozycyjnych błony oddzielające poszczególne oczka są przezroczyste, co daje lepsze wykorzystanie światła, ale psuje ostrość widzenia.

Bodziec energetyczny, powstający w przeciku, gdy padnie na niego światło, to energia wyzwalamąca się w reakcji (podobnej do fotosyntezy), w której rodopsyna (purpura wzrokowa) przekształca się na retinen i białko zwane opsyną. Nerw wzrokowy przekazuje ten bodziec do mózgu. W czopkach proces ten przebiega podobnie, tylko substancja przekształcana jest inna – jodopsyna.



Struktura retineny.

Poszczególne komórki siatkówki produkują bodziec energetyczny już po padnięciu na nią jednego fotonu. Jednak nerw wzrokowy przekazuje bodziec dalej dopiero wtedy, gdy otrzyma jednocześnie sygnał od czterech (a czasem dopiero od dziesięciu) sąsiadujących komórek.

Widzenie barw opiera się na obecności w czopkach barwników pochłaniających światło o pewnych długościach fali. Czopek reaguje zatem tylko na światło barwy różnej od obecnych w nim pigmentów. Ciekawe, że nośnikami pigmentów są obecne w czopkach kropelki tłuszczu.

Najbardziej rozpowszechnionym poglądem na widzenie barwne jest teoria, w myśl której istnieją tylko trzy rodzaje czopków, odpowiadające trzem podstawowym kolorom – jak w kolorowej telewizji.

Nie wszystkie oczy mają zdolność akomodacji, regulowania ostrości widzenia. U ssaków ostrość reguluje ciało rzęskowe zmieniające kształt soczewki. U głowonogów regulacja ostrości przebiega jak w aparacie fotograficznym – przez zmianę odległości soczewki i siatkówki (oko staje się głębsze lub płytsze). Ptaki na ogół dysponują obiema metodami akomodacji.