

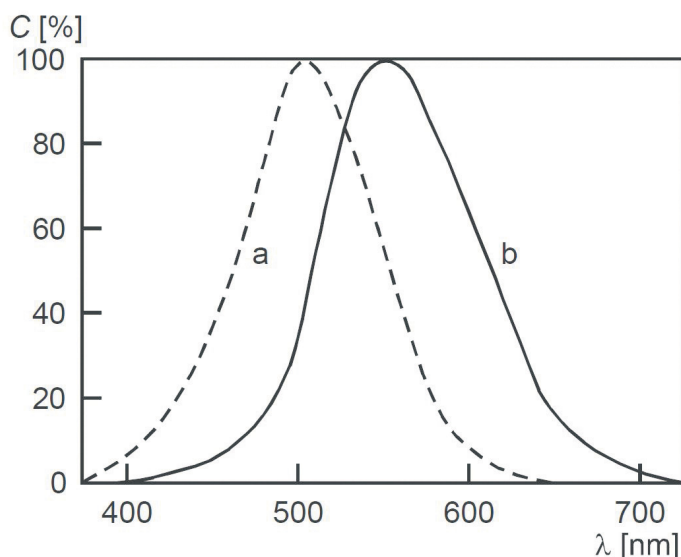
## OKO JAKO PRYZRĄD OPTYCZNY cz.3

Tym artykułem kończymy omawianie zagadnień dotyczących budowy i mechanizmu działania oka ludzkiego. Omówiliśmy problemy absorpcji światła w siatkówce oka oraz widzenia barwnego. Obecnie przeanalizujemy podstawowe cechy wzroku ludzkiego stanowiące fizyczną charakterystykę oka jako przyrządu optycznego: czułość spektralną oraz zdolność rozdzielczą.

### CZUŁOŚĆ SPEKTRALNA

Oko reaguje różnie na te same ilości energii świetlnej, zależnie od barwy światła. W dzień możemy dostrzec promieniowanie w zakresie fal od około 370 nm do 700 nm. Okazuje się, że w zakresie tym czułość oka na różne długości fal jest inna. Przedstawia to krzywa dzwonowa na rys. 1. Linia przerywaną (a) zaznaczona jest czułość oka przy obserwacji w ciemności (pracując pręciki), natomiast linią ciągłą (b) – czułość oka przy obserwacji w jasności (dla czopków). Pręciki widzą najostrej w świetle niebieskozielonym o długości fali  $\lambda = 513$  nm, czopki zaś w świetle żółtozielonym – 555 nm. Dlatego znaki ostrzegawcze wykonuje się w tym kolorze. Gdybyśmy mieli dwa źródła światła o jednakowej intensywności, z których jedno świeciłoby światłem żółtozielonym o długości  $\lambda = 555$  nm, a drugie czerwonym,  $\lambda = 650$  nm, to wrażenie intensywności odebrane przez oko z pierwszego źródła byłoby 10-krotnie silniejsze niż z drugiego.

W ciągu dnia oko jest więc najbardziej czułe na światło zielone o długości fali 555 nm. O zmroku maksimum czułości przesuwa się w stronę fal krótszych i przypada na falę o długości 513 nm (rys. 1). Oznacza to, że barwa niebieska jest w mroku lepiej widoczna niż czerwona. Jest to zjawisko PURKINIEGO. Dlatego wieczorem barwy niebieskie wydają się jaśniejsze, a czerwone – ciemniejsze lub nawet całkiem czarne. Z rys. 1 widać, że czopki i pręciki są wrażliwe na nadfiolet. Jednak oko ludzkie nie reaguje na promieniowanie nadfioletowe, ponieważ soczewka oczna pochłania promieniowanie ultrafioletowe, nie przepuszczając tego krótkofalowego promieniowania do wnętrza oka. Krzywa czułości wzroku u wielu istot żywych przebiega inaczej. Tak na przykład oczy wielu owadów uczulone są na nadfiolet, a u pszczoł na tę część widma przypada nawet maksimum.

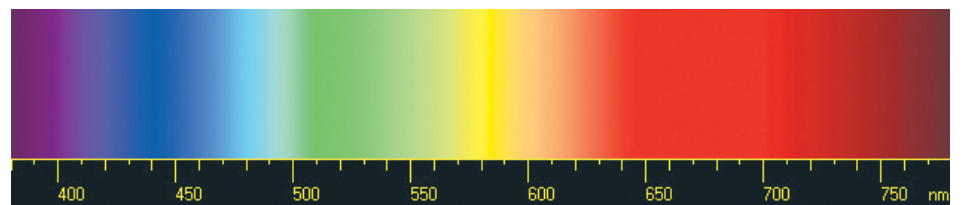


» Rys.1. Krzywa czułości (wrażliwości) oka ludzkiego przy widzeniu zmierzchowym (a) dla pręcików i dziennym (b) dla czopków (gdzie C oznacza czułość)

Porównajmy teraz krzywą czułości oka z rozkładem energii promieniowania słonecznego w zależności od długości fal (rys. 2). Krzywa czułości oka jest prawie identyczna z krzywą rozkładu energii światła słonecznego odbitego od zieleni otaczającej nas roślinności. Interesujące jest, że środek widma widzialnego, odpowiadający fali o długości około  $\lambda = 555$  nm, jest najłatwiej odbierany przez oko i pokrywa się z maksimum promieniowania przy temperaturze 5550 K. Jest to temperatura zbliżona do temperatury powierzchni Słońca. Oko jest więc najbardziej czułe na to promieniowanie, które Słońce najintensywniej wysyła.



» Rys.2. Porównanie krzywej rozkładu energii promieniowania słonecznego z krzywą czułości oka

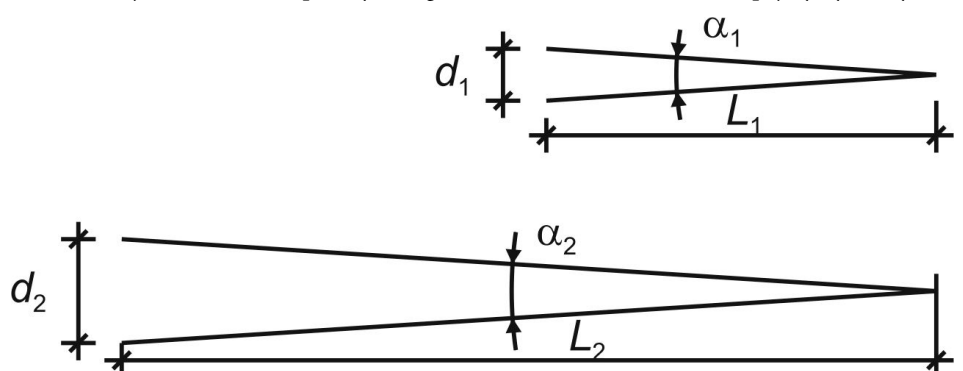


» Zakres widzialny światła białego. Źródło www.fizyka.umkt.pl

Dlaczego oko ludzkie nie jest czułe na promieniowanie elektromagnetyczne spoza zakresu światła widzialnego? Promieniowanie o długości fali mniejszej niż 400 nm jest niebezpieczne dla oka. Rogówka i soczewka pochłaniają to promieniowanie, chroniąc przed nim siatkówkę. Ale dlaczego oko nie widzi promieni podczerwonych? Otóż kwanty promieniowania podczerwonego o długości fali większej niż 760 nm mają zbyt małą energię, aby pobudzić receptory.

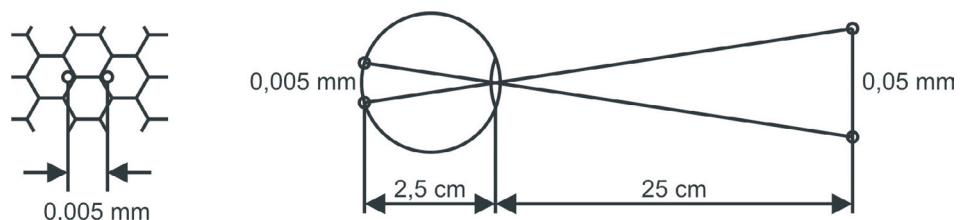
### ZDOLNOŚĆ ROZDZIELCZA OKA

Zdolność rozdzielcza oka ludzkiego wyraża się najmniejszym kątem, jaki tworzą dwa, jeszcze dające się rozróżnić, elementy obrazu z centralnym punktem siatkówki. Kąt ten wynosi zwykle około 1 minuty kątowej, to jest 1/60 stopnia. Oznacza to, że z odległości 1 m średnie oko zdolne jest rozróżnić 2 punkty odległe od siebie o 0,3 mm. Jeżeli spojrzymy na rys. 3,



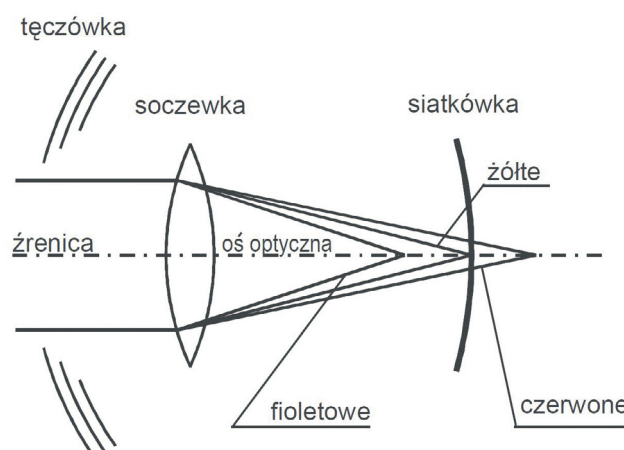
» Rys.3. Zależność zdolności rozdzielczej oka od odległości oglądanego przedmiotu

to stwierdzimy, że w przypadku gdy  $d_1 = d_2$  i  $l_2 > l_1$ , kąt  $\alpha_2 < \alpha_1$ . Dlatego przy obserwacji z dostatecznej nawet odległości obraz o strukturze ziarnistej czy kropkowej odbierzemy jako obraz o strukturze ciągłej. Elementy nerwowe siatkówki znajdują się w odległości około 0,005 mm od siebie (rys. 4); aby oko mogło odróżnić dwa bliskie punkty, obraz ich musi się znaleźć co najmniej w dwóch sąsiednich, różnych elementach nerwowych.



» Rys.4 Zdolność rozdzielcza oka

Ponieważ oko normalne ma średnicę około 2,5 cm i widzi najlepiej z odległości około 25 cm (odległość dobrego widzenia), dlatego najmniejsze odległości dwóch sąsiednich punktów, które oko nieuzbrojone może jeszcze odróżnić, wynoszą około 0,05 mm. Ta najmniejsza odległość, wynosząca 0,05 mm, jest zdolnością rozdzielczą oka normalnego. Zdolność rozdzielcza oka ograniczona jest w dużym stopniu przez zjawisko aberracji chromatycznej. Zjawisko to jest wynikiem zróżnicowanego załamania promieni świetlnych o różnej długości fali przez soczewkę oka, podobnie jak w szklanym pryzmacie optycznym. Promienie światła fioletowego załamane są silniej (pod większym kątem) niż promienie czerwone (rys. 5).



» Rys.5. Aberracja chromatyczna oka

Wskutek tego przypromieniowaniu złożonym z fal o różnej długości, na przykład w świetle dziennym, obraz na siatkówce oka jest mniej ostry niż przypromieniowaniu mono-chromatycznym (na przykład w świetle sodowej).

Źródło:  
Henryk Drozdowski  
Uniwersytet im. Adama  
Mickiewicza w Poznaniu  
FIZYCZNY OBRAZ ŚWIATA

CWINT- OTWIERAMY DLA CIEBIE SZEROKO DRZWI DO ŚWIATA WIEDZY I NAUKI