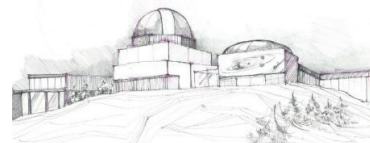




PATRZĄC W NIEBO



Rozmaitości ASTRONOMICZNE

Wiadomości ze świata nauki i techniki

Doniesienia z CERN ESA NASA

www.facebook.com/cwintpoland

Nr (144) 32/2018

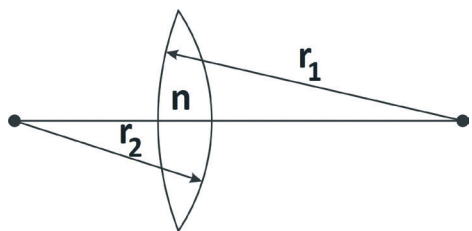
OKO JAKO PRZYRZĄD OPTYCZNY cz.2

W poprzednim artykule przedstawiliśmy budowę makroskopową oka ludzkiego oraz ogólny mechanizmu jego działania. Obecnie skoncentrujemy naszą uwagę na procesie tworzenia obrazu barwnego. Zrozumienie tego zagadnienia pozwoli uniknąć wielu nieporozumień i roszczarowań podczas obserwacji nocnych przez teleskopy mgławic i galaktyk gdy zamiast kolorowych, pełnych nasyconych barw obrazów - jakie można zobaczyć w astronomucznych albumach, telewizji lub internecie - widzimy „tylko szare” pozbawione koloru subtelne mgiełki.

TWORZENIE OBRAZU BARWNEGO

Soczewka oczna ma zmienną ogniskową. Przy pominięciu grubości soczewki, która ma minimalny wpływ na ogniskową, wzór na jej wielkość wyraża się następująco:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

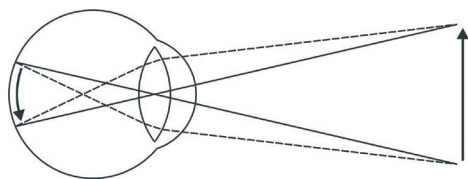


» Rys.1. Zmienność krzywizn soczewki ocznej powoduje zmienność ogniskowej

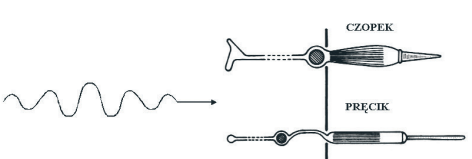
gdzie: f – ogniskowa soczewki, r_1 , r_2 – promienie krzywizn soczewki, n – współczynnik załamania ośrodka soczewki.

Dla zwykłej soczewki ogniskowa jest wielkością stałą, bowiem elementy n , r_1 , r_2 , są także stałe. Natomiast w soczewce ocznej zmienne są promienie krzywizn. Zmianę tę wywołują mięśnie, których naciągnięcie powoduje spłaszczenie się soczewki ocznej, a zatem zwiększenie promieni krzywizn i odwrotnie. Jeżeli zmieniają się promienie krzywizn, zmienia się zgodnie ze wzorem i ogniskową. Proces ten w oku ludzkim przebiega płynnie i bardzo szybko. Dlatego też przedmioty, na które kierujemy nasz wzrok, są od razu ostro widziane, wyraźnie widoczne.

Zmiana ogniskowej soczewki, odpowiednio do odległości od przedmiotu postrzeganego, zapewnia ostrość widzenia. Przepuszczalność światła wynosi 75%. Soczewka, obok rogówki, jest jedyną tkanką o tak dużej przepuszczalności światła. Zawiera ona około 80% wody oraz niemal wyłącznie białka. Oprócz kalogenu są to dwa swoiste białka: α - i β -krystaliny. Przejroczystość obu białek zależy od nieprzerwanej przemiany energetycznej. Zaopatrywanie soczewki w związki wysokoenergetyczne odbywa się wyłącznie drogą dyfuzji, ponieważ brak w niej naczyń krwionośnych. Omawiając proces widzenia, doszliśmy do momentu utworzenia się obrazu geometrycznego na siatkówce. Co dzieje się dalej?



» Rys.2. Tworzenie się obrazu na siatkówce



» Rys.3. Widok fotoreceptorów w siatkówce

Fotoreceptory, które ze względu na swój kształt dzielą się na pręciki i czopki trzech rodzajów, uczulone są na energię świetlną. Największe zagęszczenie czopków występuje na osi optycznej gałki ocznej, w plamce żółtej. Wielkość plamki wynosi 2° pola widzenia (rys. w poprzednim artykule), co odpowiada polu widzenia jednego słowa na stronie gazety przy odległości czytania około 40 cm.

Czopki umożliwiają widzenie barwne i wykonują swoje funkcje przy dobrym oświetleniu. Zapewniają widzenie szczegółów i rozróżnianie barw w warunkach światła dziennego lub silnego światła sztucznego. Jeśli chcemy dokładnie ocenić jakiś szczegół lub barwę, obracamy oczy „na wprost” przedmiotu oglądanego tak, aby promień świetlny 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 czulych pręcików. Największe zagęszczenie czopków w siatkówce człowieka wynosi 20 sztuk na $100 \mu m^2$. W siatkówce myszowa na tej samej powierzchni występuje ich do 100 sztuk.

Pręciki reagują w warunkach słabego oświetlenia, lecz barw nie rozróżniają, co znalazło swój wyraz nawet w przysłowiu „o zmierzchu wszystkie koty szare”. Przy słabym oświetleniu oko przelata się więc na odbiór czulszymi pręcikami, które pozwalają dostrzec jedynie odcienie szarości. Pręciki są nierównomiernie rozłożone na powierzchni siatkówki. Ich liczba rośnie w miarę przesuwania się z centrum ku obwodowi siatkówki.

Te dwa rodzaje komórek można porównać z kolorową i czarno-białą błoną fotograficzną, które występują łącznie. Pręciki (jest ich około 130 mln) posiadają dużą czułość lecz zachodzą w nich jedynie reakcje dające w odbiorze efekty czarno-białe. Czopki (około 7 mln) są mniej czułe na bodźce świetlne, ale w zależności od rodzaju zawartej w nich substancji światłoczułej zachodzą w nich reakcje dające wrażenie barw: czerwonej, zielonej lub niebieskiej. W pręcikach i czopkach reakcje fotochemiczne zapoczątkowują przemiany energetyczne. W pręcikach substancją światłoczułą jest rodopsyna (purpura wzrokowa), która pod wpływem kwantu światła $h\nu$ rozpada się na retinen i białko zwane opsyna. Wydzielająca się przy tym energia jest

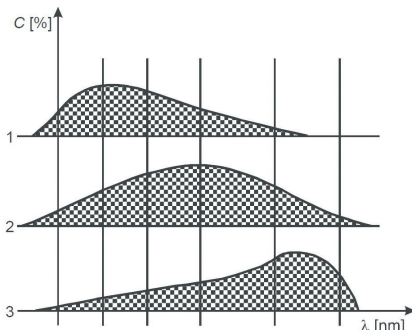
bezpośrednią przyczyną powstania impulsu nerwowego. Nerw wzrokowy przekazuje ten bodziec do mózgu.

Poszczególne komórki siatkówki wytwarza bodziec energetyczny już po padnięciu na nią jednego fotonu. Zachodzi następująca reakcja:

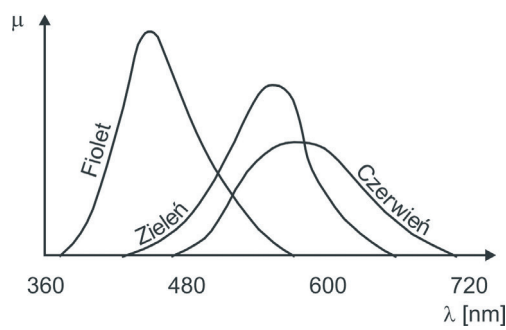
rodopsyna + $h\nu$ retinen + opsyna + energia

Retinen i cząsteczka białka (opsyna) rekombinują w ciemności. W czopkach proces ten przebiega podobnie, tylko substancja przekształcana jest inna – jodopsyna.

Widzenie barw opiera się na obecności w czopkach barwników pochłaniających światło o pewnych długościach fali. Według teorii YOUNGA – HELMHOLTZA istnieją tylko trzy rodzaje czopków, odpowiadające trzem podstawowym kolorom – jak w kolorowej telewizji.



» Rys.4. Trzy zasadnicze wrażenia barwne wg. YOUNGA i HELMHOLTZA (gdzie C oznacza czułość barwnika)



» Rys.5. Współczynnik absorpcji μ czopków w zależności od długości fali λ

Pierwszy z nich czuły jest najbardziej na barwę niebieską, drugi wrażliwy jest na zieloną, a trzeci na czerwoną. Każdy z nich wycina z widma właściwą sobie część promieniowania. Ponieważ krzywe absorpcji czopków pokrywają się w pewnym zakresie długości (Rys.5), zwykle reagują na światło równocześnie trzy ich rodzaje, a odbiór barwy zależy od tego, jaki jest udział w odbiorze bodźca danej grupy czopków. Wszystkie wrażenia widzenia barw są wynikiem mieszania sygnałów z tych trzech układów. Jeśli na przykład do oka wpada światło barwy czerwonej, pobudza ono wszystkie trzy elementy; wszystkie one pochłaniają to światło, ale w różnym stopniu. Oko odczuwa tę różnicę, czemu towarzyszy wrażenie barwy czerwonej. Wrażenie barwy jest odczuciem relacji między wzbudzeniem w tych trzech różnych receptorach. Przy różnych proporcjach wrażeń odbieranych z trzech rodzajów czopków otrzymujemy więc wszystkie możliwe barwy. Natomiast za postrzeganie jasności padającego światła odpowiada suma wzbudzeń we wszystkich trzech rodzajach czopków. Mniejsza czułość czopków (niż pręcików) na światło sprawia, iż widzenie za ich pośrednictwem możliwe jest tylko przy silnym oświetleniu; jest to widzenie dzienne. Bardziej „czułe” pręciki reagują również na słabe oświetlenie – jest to widzenie zmrokowe – tyle, że nie odbierają barw, więc o zmroku przedmioty widzimy w różnych odcieniach szarości.

Wrażenia wzrokowe powstają, gdy energia kwantu osiągnie pewną wartość progową. Dla oka ludzkiego zawiera się ona (zależnie od długości fali λ) w granicach od $2,1 \times 10^{-17}$ J do $5,5 \times 10^{-17}$ J. Największą czułość oko ludzkie wykazuje dla $\lambda = 510$ nm (wartość λ podana dla powietrza). Wrażliwość oka na światło nie jest stała, lecz zależy od ilości docierającego doń światła. Dostosowanie się oka do warunków oświetlenia nazywa się adaptacją wzroku, a odbywa się wskutek zmian średnicy źrenicy (od 2 do 8 mm) oraz zmian czułości pręcików i czopków. Gdy pod wpływem padającego na siatkówkę światła nastąpi całkowity rozpad substancji barwnych, oko traci wrażliwość na światło. Powraca ona z chwilą regeneracji substancji i osiąga maksimum w ciemności, gdy całość substancji barwnej zrekombinuje. Zmiana średnicy źrenicy zależy zarówno od natężenia światła, jak i zmian czułości siatkówki. Źrenica powiększa się, gdy następuje rozkład substancji barwnych. Sygnał od fotoreceptorów (o wielkości określonej stopniem rozpadu substancji światłoczułych w czopkach) wędruje do ośrodka dyspozycyjnego, który znajduje się w śródmózgowiu, skąd po rozpoznaniu zostaje skierowany do „układu zwięzania” lub „układu rozszerzania”. Stamtąd odpowiedni rozkaz zostaje przekazany do mięśni uruchamiających źrenicę. Zatem oko wykonuje taką pracę, jak cała kamera video!

Źródło:

Henryk Drozdowski

FIZYCZNY OBRAZ ŚWIATA

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

PARZYŃÓW 67

**OBSERWATORIUM
ASTRONOMICZNE**

MUZEUM JP II

Serwis informacyjny „Patrząc w NIEBO”- zadanie finansowane w ramach umowy 749/P-DUN/2017 ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę”



**Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego**

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

