

WSTĘP DO GRAFIKI KOMPUTEROWEJ

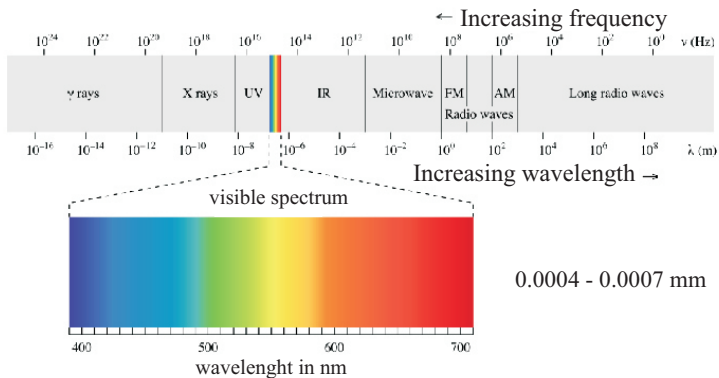
Miłosz Michalski

Institute of Physics
Nicolaus Copernicus University

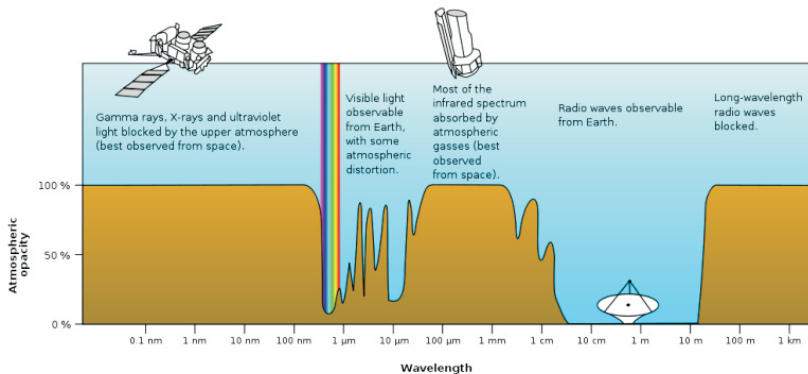
Październik 2015

- **Światło, kolor, zmysł wzroku**
- Obraz: fotografia, poligrafia, grafika cyfrowa
- Grafika rastrowa: typowe narzędzia i techniki
- Grafika wektorowa: elementy i techniki
- Elementy grafiki 3D

Spektrum promieniowania elektromagnetycznego



Spektrum — wpływ atmosfery ziemskiej



$$E = h\nu$$

- wysokie częstotliwości = wysokie energie
- niskie częstotliwości = niskie energie

- Odbicie

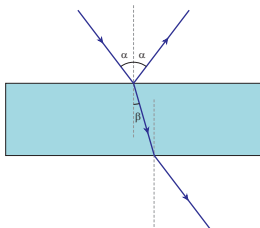
- Odbicie
- Dyfrakcja (ugięcie), interferencja, polaryzacja

- Odbicie
- Dyfrakcja (ugięcie), interferencja, polaryzacja
- **Refrakcja (załamanie) i dyspersja**

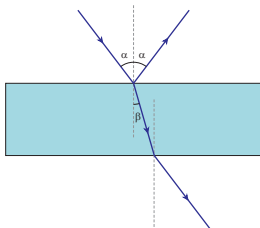
Zjawiska falowe — załamanie



Zjawiska falowe — załamanie



Zjawiska falowe — załamanie

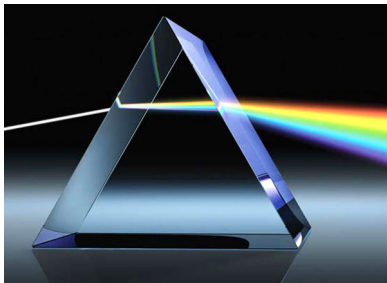


- Zależność wsp. załamania od gęstości optycznej materiału

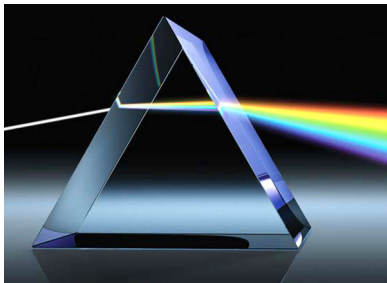
$$n_{\text{mat}} = \frac{c}{v_{\text{mat}}} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$n_{\text{water}} = 1.33, \quad n_{\text{glass}} = 1.52, \quad n_{\text{diamond}} = 2.24$$

Zjawiska falowe — dyspersja



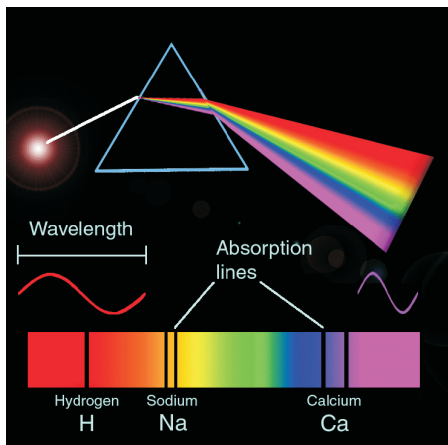
Zjawiska falowe — dyspersja



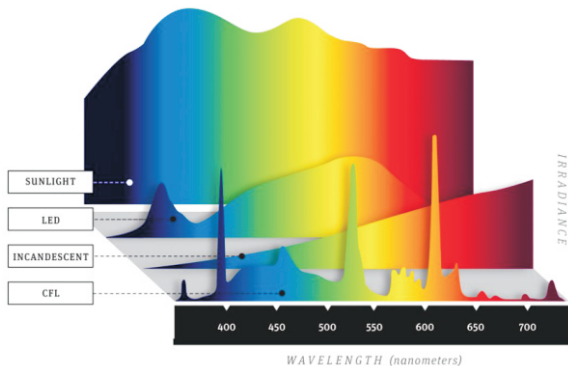
- Zależność od częstotliwości padającej fali

$$n \sim \nu$$

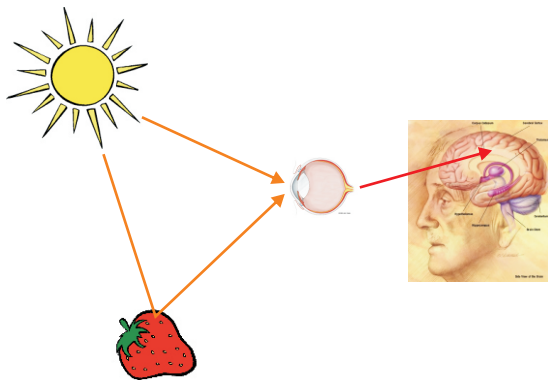
Zastosowanie — spektroskopia



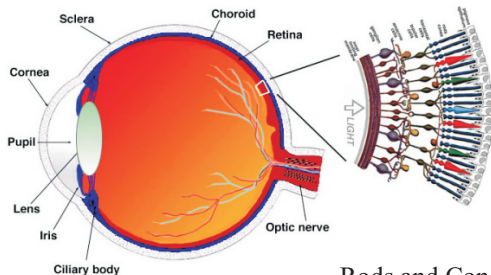
Charakterystyka źródeł światła



Percepcja wzrokowa

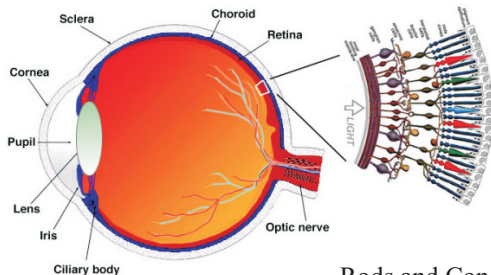


Teoria trójchromatyczności — budowa siatkówki



- T. Young & H. Helmholtz — teoretyczny model 1802–1850

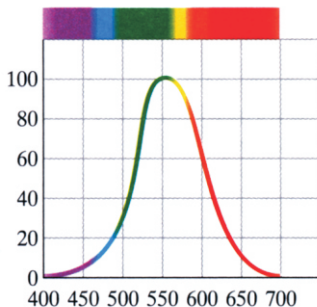
Teoria trójchromatyczności — budowa siatkówki



Rods and Cones

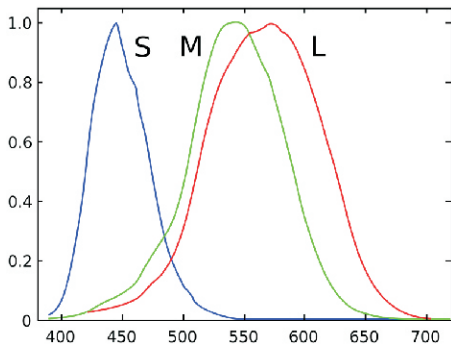
- T. Young & H. Helmholtz — teoretyczny model 1802–1850
- G. Svaetichin — doświadczalne potwierdzenie 1956

Teoria trójkromatyczności — krzywa odpowiedzi pręcików



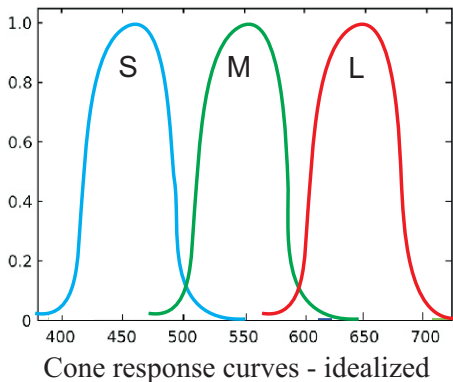
Rode response to incident wavelength

Teoria trójkromatyczności — krzywe odpowiedzi czopków

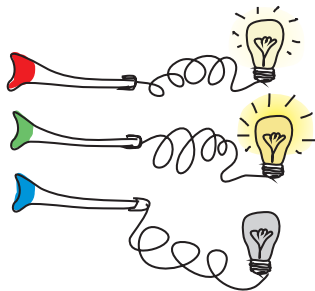


Cone response curves

Teoria trójkromatyczności — idealizacja



Teoria trójkromatyczności — schemat działania czopków



Kilka faktów anatomicznych

Kilka faktów anatomicznych

- Czopki stanowią ok. 5% komórek światłoczułych

Kilka faktów anatomicznych

- Czopki stanowią ok. 5% komórek światłoczułych
- Naczelnne są trójchromatyczne, liczne ssaki —
dwuchromatyczne, drapieżniki nocne — monochromatyczne z
reakcją na podczerwień

Kilka faktów anatomicznych

- Czopki stanowią ok. 5% komórek światłoczułych
- Naczelné są trójkromatyczne, liczne ssaki — dwukromatyczne, drapieżniki nocne — monokromatyczne z reakcją na podczerwień
- Inne kręgowce (ptaki, ryby) mogą być cztero- lub pięciokromatyczne

Kilka faktów anatomicznych

- Czopki stanowią ok. 5% komórek siatkówki
- Naczelnice są trójkolorowe, liczne ssaki — dwukolorowe, drapieżniki nocne — monochromatyczne z reakcją na podczerwień
- Inne kręgowce (ptaki, ryby) mogą być cztero- lub pięciokolorowe
- Rekordzistą są morskie skorupiaki z rodziny ustonogich — 12 rodzajów czopków!



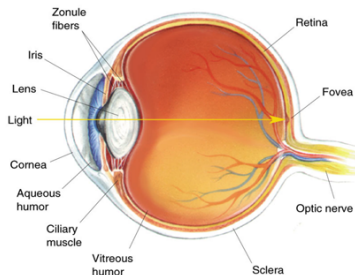
Kilka faktów anatomicznych

- Czopki stanowią ok. 5% komórek światłoczułych
- Naczelnne są trójchromatyczne, liczne ssaki — dwuchromatyczne, drapieżniki nocne — monochromatyczne z reakcją na podczerwień
- Inne kręgowce (ptaki, ryby) mogą być cztero- lub pięciochromatyczne
- Rekordzistą są morskie skorupiaki z rodziny ustonogich — 12 rodzajów czopków!

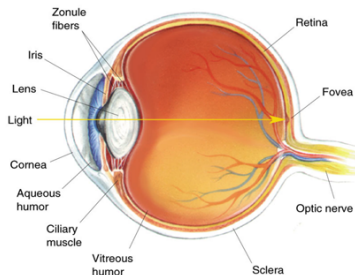


- W chromosomach 50% kobiet zapisana jest potencjalna możliwość wykształcenia czterochromatycznej siatkówki.

Kilka faktów anatomicznych — cd.

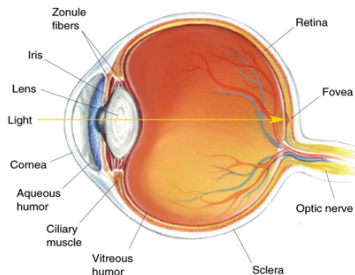


Kilka faktów anatomicznych — cd.



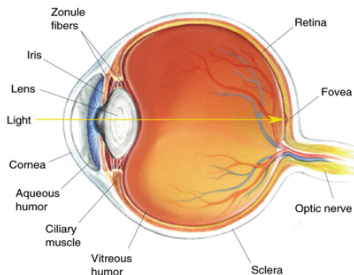
- W siatkówce człowieka jest ok. 130 mln. fotoreceptorów: 120 mln. pręcików i 6 mln. czopków

Kilka faktów anatomicznych — cd.



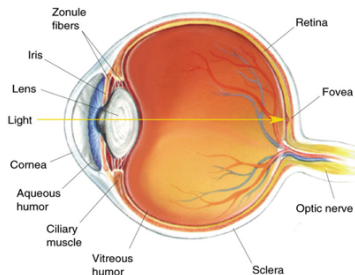
- W siatkówce człowieka jest ok. 130 mln. fotoreceptorów: 120 mln. pręcików i 6 mln. czopków
- W centrum dołka środkowego (2°) znajduje się 150 tys. czopków na mm^2 . Średnia odległość czopków — $2.5 \mu\text{m}$

Kilka faktów anatomicznych — cd.



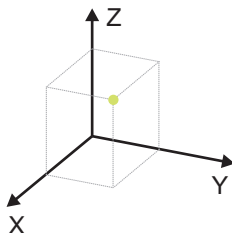
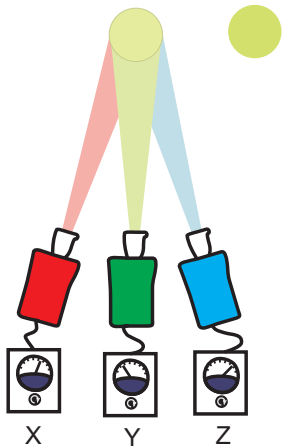
- W siatkówce człowieka jest ok. 130 mln. fotoreceptorów: 120 mln. pręcików i 6 mln. czopków
- W centrum dołka środkowego (2°) znajduje się 150 tys. czopków na mm^2 . Średnia odległość czopków — $2.5 \mu\text{m}$
- Dołek środkowy ma średnicę ok. 1,5 mm (5°) i leży w centrum plamki żółtej o rozmiarze ok. 10° .

Kilka faktów anatomicznych — cd.

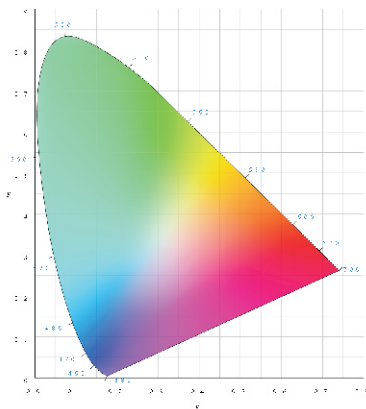
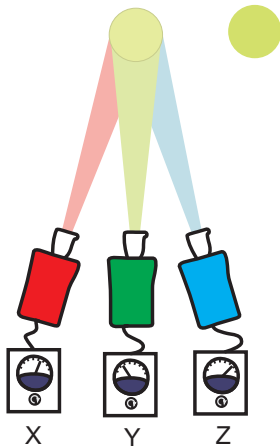


- W siatkówce człowieka jest ok. 130 mln. fotoreceptorów: 120 mln. pręcików i 6 mln. czopków
- W centrum dołka środkowego (2°) znajduje się 150 tys. czopków na mm^2 . Średnia odległość czopków — $2.5 \mu\text{m}$
- Dołek środkowy ma średnicę ok. 1,5 mm (5°) i leży w centrum plamki żółtej o rozmiarze ok. 10° .
- Gęstość czopków spada wraz z odległością od osi oka

Model XYZ reprezentacji koloru



Model XYZ reprezentacji koloru



Teoria barw przeciwnych (K.E. Hering 1892)

Teoria barw przeciwstawnych (K.E. Hering 1892)

- Niektóre pary barw łączą się w naturalny sposób...



Teoria barw przeciwstawnych (K.E. Hering 1892)

- Niektóre pary barw łączą się w naturalny sposób...



- ... podczas gdy inne nie:



Teoria barw przeciwstawnych (K.E. Hering 1892)

- Niektóre pary barw łączą się w naturalny sposób...

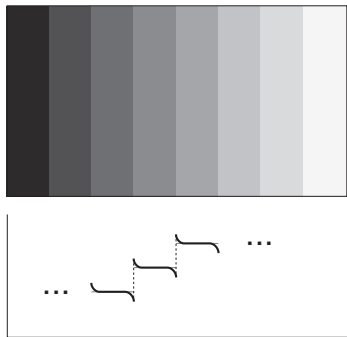


- ... podczas gdy inne nie:

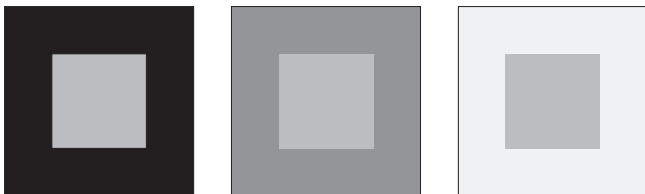


- WNIOSEK: mózg analizuje także **różnice** odpowiedzi czopków

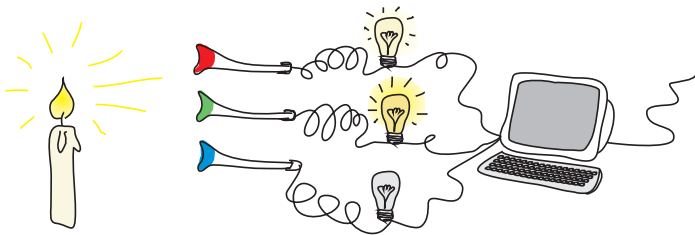
Złudzenia wzrokowe



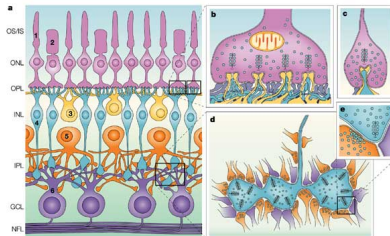
Złudzenia wzrokowe



Przetwarzanie sygnałów z siatkówki

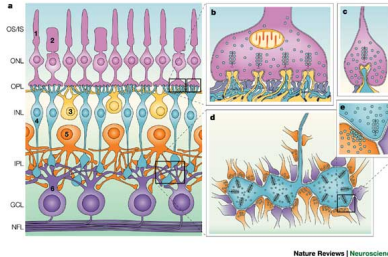


Przetwarzanie sygnałów z siatkówki



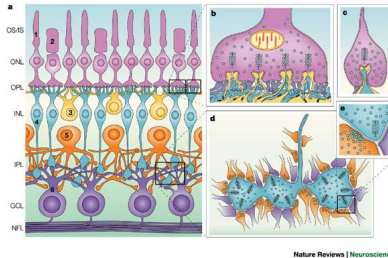
Nature Reviews | Neuroscience

Przetwarzanie sygnałów z siatkówki



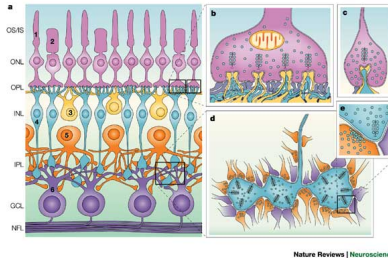
- **Komórki zbiorcze** w głębszych warstwach siatkówki integrują sygnały z sąsiednich fotoreceptorów

Przetwarzanie sygnałów z siatkówki



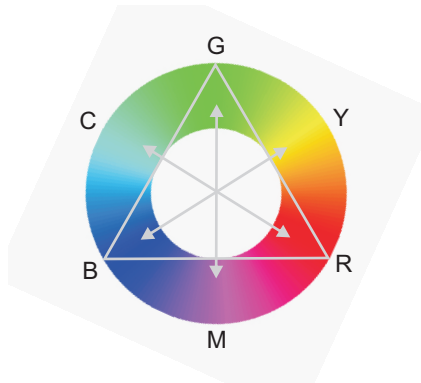
- **Komórki zbiorcze** w głębszych warstwach siatkówki integrują sygnały z sąsiednich fotoreceptorów
- Komórki poziome, dwubiegunowe, amakrynowe, zwojowe — sygnał do nerwu wzrokowego

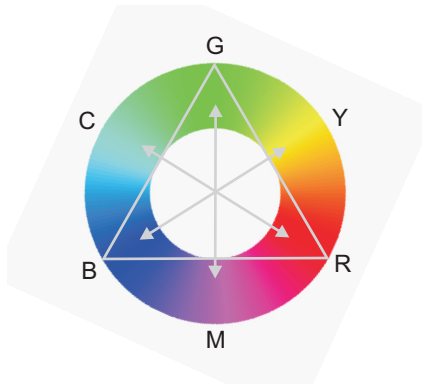
Przetwarzanie sygnałów z siatkówki



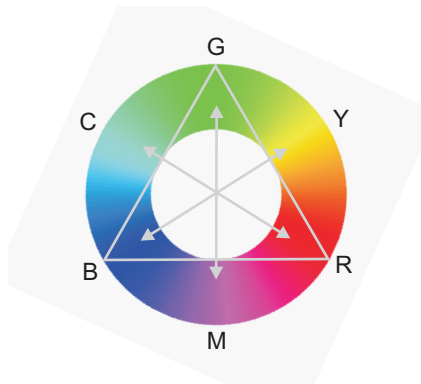
- **Komórki zbiorcze** w głębszych warstwach siatkówki integrują sygnały z sąsiednich fotoreceptorów
- Komórki poziome, dwubiegunowe, amakrynowe, zwojowe — sygnał do nerwu wzrokowego
- Wzmacnianie kontrastu sąsiednich obszarów — poprawa ostrości widzenia

Psychologia percepcji koloru



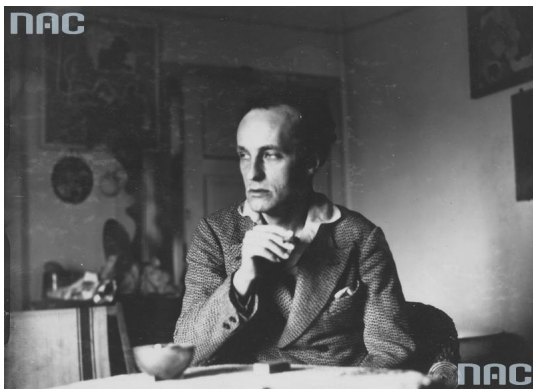


- **Powidoki** są wynikiem zmęczenia czopków określonego typu i czasowego osłabienia ich odpowiedzi



- **Powidoki** są wynikiem zmęczenia czopków określonego typu i czasowego osłabienia ich odpowiedzi
- Zastosowania: czerwone oświetlenie przyrządów w kokpitach samolotów, czerwone tylne światła samochodów

Władysław Strzemiński (1893–1952)

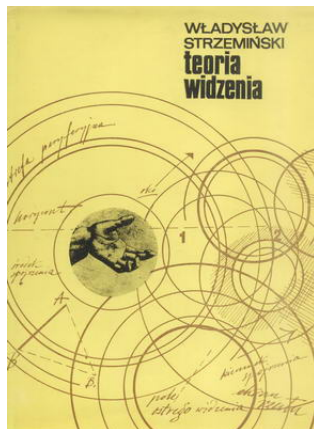


Narodowe Archiwum Cyfrowe, sygn. 1-K-5315

Władysław Strzemiński (1893–1952)



Władysław Strzemiński (1893–1952)

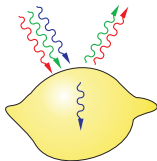




- Pigmenty zmieniają kolor odbitego światła przez selektywną absorpcję fal określonej długości



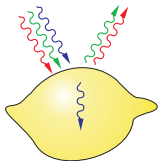
- Pigmenty zmieniają kolor odbitego światła przez selektywną absorpcję fal określonej długości



kolor przedmiotu = kolor światła odbitego = biały - kolor absorbowany

Kolor przedmiotów

- Pigmenty zmieniają kolor odbitego światła przez selektywną absorpcję fal określonej długości

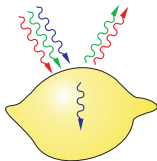


kolor przedmiotu = kolor światła odbitego = biały - kolor absorbowany

- Obserwowany kolor przedmiotu **zależy** od koloru oświetlenia

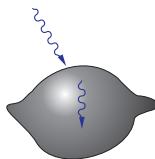
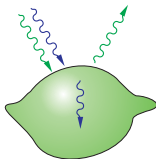
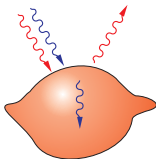
Kolor przedmiotów

- Pigmenty zmieniają kolor odbitego światła przez selektywną absorpcję fal określonej długości



kolor przedmiotu = kolor światła odbitego = biały - kolor absorbowany

- Obserwowany kolor przedmiotu **zależy** od koloru oświetlenia



- Modele koloru — parametryczne reprezentacje koloru w układach współrzędnych: RGB, HSV, Lab, CMYK, ...

Modele i przestrzenie koloru

- Modele koloru — parametryczne reprezentacje koloru w układach współrzędnych: RGB, HSV, Lab, CMYK, ...

$(226, 189, 15) = (0, 0.164, 0.934, 0.114) = (49, 93, 89)$
RGB CMYK HSB

Modele i przestrzenie koloru

- Modele koloru — parametryczne reprezentacje koloru w układach współrzędnych: RGB, HSV, Lab, CMYK, ...

$$(226, 189, 15) = (0, 0.164, 0.934, 0.114) = (49, 93, 89)$$

RGB CMYK HSB

- Przestrzeń kolorów — ustalenie punktów odniesienia przez specyfikację czystych barw, np. R, G i B

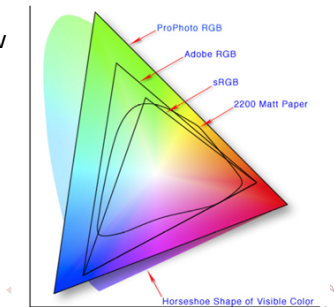
Modele i przestrzenie koloru

- Modele koloru — parametryczne reprezentacje koloru w układach współrzędnych: RGB, HSV, Lab, CMYK, ...

$(226, 189, 15) = (0, 0.164, 0.934, 0.114) = (49, 93, 89)$

RGB CMYK HSB

- Przestrzeń kolorów — ustalenie punktów odniesienia przez specyfikację czystych barw, np. R, G i B



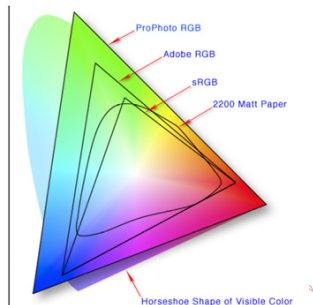
Modele i przestrzenie koloru

- Modele koloru — parametryczne reprezentacje koloru w układach współrzędnych: RGB, HSV, Lab, CMYK, ...

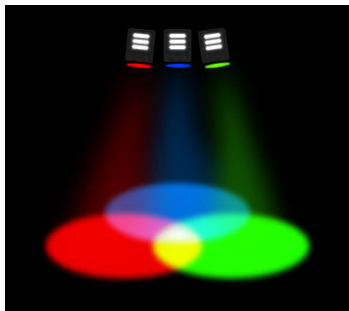
$(226, 189, 15) = (0, 0.164, 0.934, 0.114) = (49, 93, 89)$

RGB CMYK HSB

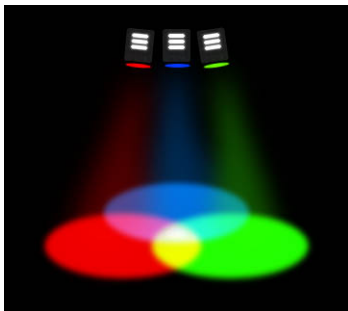
- Przestrzeń kolorów — ustalenie punktów odniesienia przez specyfikację czystych barw, np. R, G i B
- Gamut — zbiór barw danej przestrzeni



RGB — model addytywny

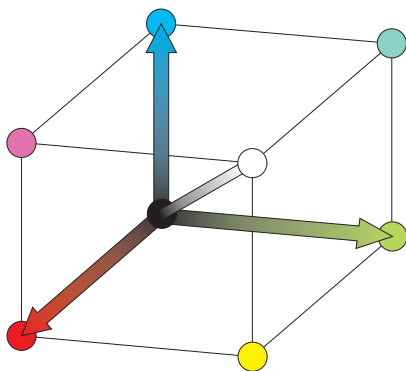


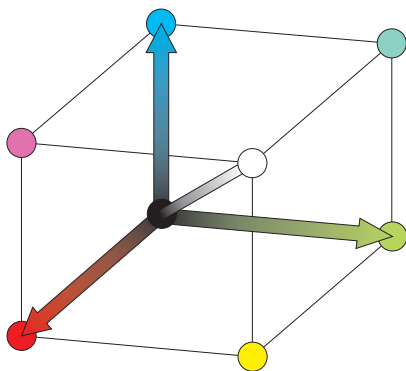
RGB — model addytywny



0,0,0	0,0,255	255,0,255	0,255,255	128,128,128	255,0,0	255,255,0	255,255,255
-------	---------	-----------	-----------	-------------	---------	-----------	-------------

Kostka RGB





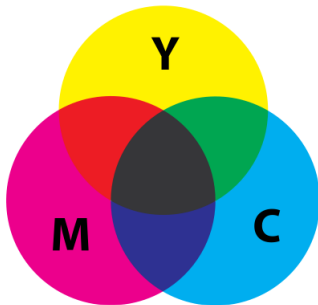
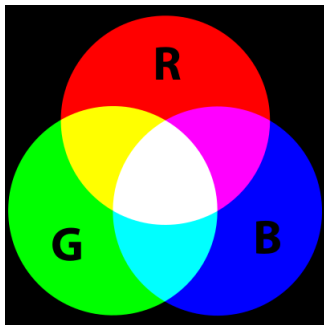
$R = G = B \Rightarrow$ odcienie szarości

CMY(K) — model subtraktywny

$$C = \text{biały} - R, \quad M = \text{biały} - G, \quad Y = \text{biały} - B$$

CMY(K) — model subtraktywny

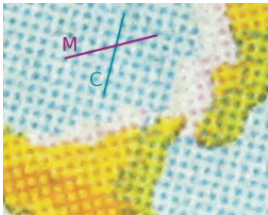
$$C = \text{biały} - R, \quad M = \text{biały} - G, \quad Y = \text{biały} - B$$



CMYK



CMYK



Konwersja RGB — CMYK

- $C = \text{biały} - R$, $M = \text{biały} - G$, $Y = \text{biały} - B$

Konwersja RGB — CMYK

- $C = \text{biały} - R$, $M = \text{biały} - G$, $Y = \text{biały} - B$
- Normalizacja: $r = \frac{R}{255}$, $g = \frac{G}{255}$, $b = \frac{B}{255}$

Konwersja RGB — CMYK

- $C = \text{biały} - R$, $M = \text{biały} - G$, $Y = \text{biały} - B$
- Normalizacja: $r = \frac{R}{255}$, $g = \frac{G}{255}$, $b = \frac{B}{255}$
- Poziom czerni: $K = 1 - \max\{r, g, b\}$

- $C = \text{biały} - R, \quad M = \text{biały} - G, \quad Y = \text{biały} - B$
- Normalizacja: $r = \frac{R}{255}, \quad g = \frac{G}{255}, \quad b = \frac{B}{255}$
- Poziom czerni: $K = 1 - \max\{r, g, b\}$

$$C = \frac{1 - K - r}{1 - K}, \quad M = \frac{1 - K - g}{1 - K}, \quad Y = \frac{1 - K - b}{1 - K}$$

Konwersja RGB — CMYK

- $C = \text{biały} - R$, $M = \text{biały} - G$, $Y = \text{biały} - B$
- Normalizacja: $r = \frac{R}{255}$, $g = \frac{G}{255}$, $b = \frac{B}{255}$
- Poziom czerni: $K = 1 - \max\{r, g, b\}$

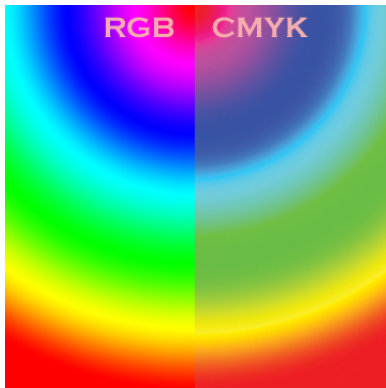
$$C = \frac{1 - K - r}{1 - K}, \quad M = \frac{1 - K - g}{1 - K}, \quad Y = \frac{1 - K - b}{1 - K}$$

- Są to uproszczone formuły konwersji między *modelami* RGB i CMYK.

Gamut CMYK jest uboższy od RGB i zależy w dużym stopniu od użytej techniki druku.

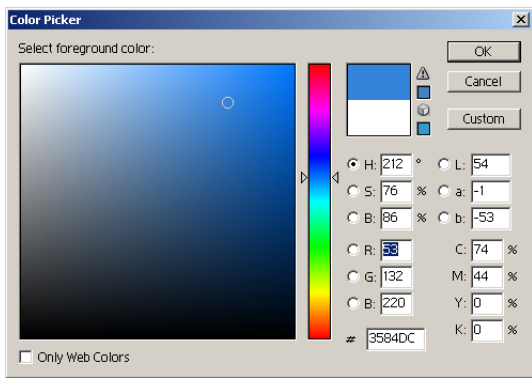
RGB — CMYK

Gamut CMYK jest uboższy od RGB i zależy w dużym stopniu od użytej techniki druku.

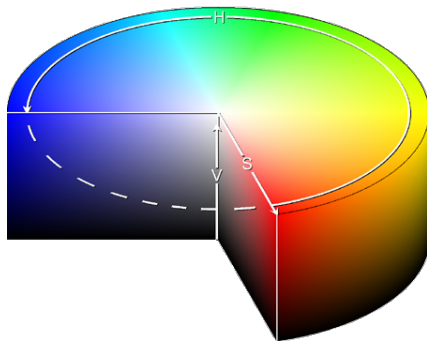


RGB — CMYK

Gamut CMYK jest uboższy od RGB i zależy w dużym stopniu od użytej techniki druku.

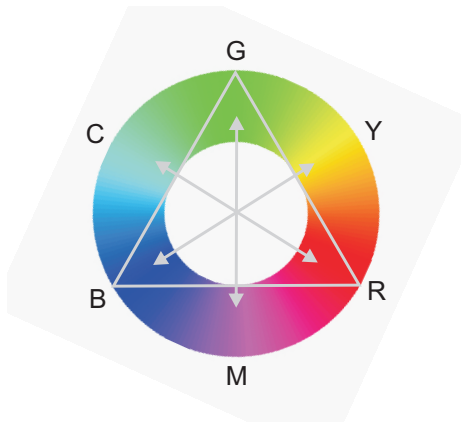


HSV



$$H = 0, \dots, 360^\circ, \quad S, V = 0, \dots, 100\%$$

HSV



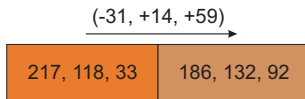
$$H = 0, \dots, 360^\circ, \quad S, V = 0, \dots, 100\%$$

- Przy pomocy parametrów RGB trudno jest uzyskać np. podobny kolor o połowę mniejszej jasności,

$(-31, +14, +59)$
→

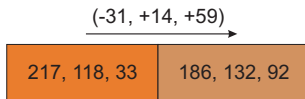
217, 118, 33	186, 132, 92
--------------	--------------

- Przy pomocy parametrów RGB trudno jest uzyskać np. podobny kolor o połowę mniejszej jasności,



- Modele “cyldryczne” rozwiązują ten problem: H – indeks barwy, S – nasycenie, trzeci parametr opisuje jasność

- Przy pomocy parametrów RGB trudno jest uzyskać np. podobny kolor o połowę mniejszej jaskrawości,



- Modele “cylindryczne” rozwiązują ten problem: H – indeks barwy, S – nasycenie, trzeci parametr opisuje jasność
- Precyzyjne określenie S zależy od przyjętej miary jasności

- Value: $V = \max\{R, G, B\}$

Miary jasności

- Value: $V = \max\{R, G, B\}$
- Lightness: $L = \frac{1}{2} (\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\})$

Miary jasności

- Value: $V = \max\{R, G, B\}$
- Lightness: $L = \frac{1}{2} (\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\})$
- Brightness: $B = \frac{1}{3} (R + G + B)$ (także I – intensity)

Miary jasności

- Value: $V = \max\{R, G, B\}$
- Lightness: $L = \frac{1}{2} (\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\})$
- Brightness: $B = \frac{1}{3} (R + G + B)$ (także I – intensity)
- Luma: $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$
(standard dla analogowego video)

Miary jasności

- Value: $V = \max\{R, G, B\}$
- Lightness: $L = \frac{1}{2} (\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\})$
- Brightness: $B = \frac{1}{3} (R + G + B)$ (także I – intensity)
- Luma: $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$
(standard dla analogowego video)
- Luma: $YY = 0.21R + 0.72G + 0.07B$
(dla telewizji HD, sRGB)

- Value: $V = \max\{R, G, B\}$
- Lightness: $L = \frac{1}{2} (\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\})$
- Brightness: $B = \frac{1}{3} (R + G + B)$ (także I – intensity)
- Luma: $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$
(standard dla analogowego video)
- Luma: $YY = 0.21R + 0.72G + 0.07B$
(dla telewizji HD, sRGB)
- Lightness L w przestrzeni CIE Lab — konwersja pośrednia
(zależna od standardu RGB) na XYZ oraz

$$L = \begin{cases} 116 \sqrt[3]{Y/Y_0} - 16 & Y/Y_0 \geq 0.008856 \\ 903.3 Y/Y_0 & \text{w przeciwnym razie} \end{cases}$$

gdzie Y_0 — punkt bieli.

Miary jasności



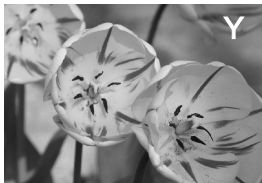
$$V = \max\{R, G, B\}$$

$$L = \frac{\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\}}{2}$$

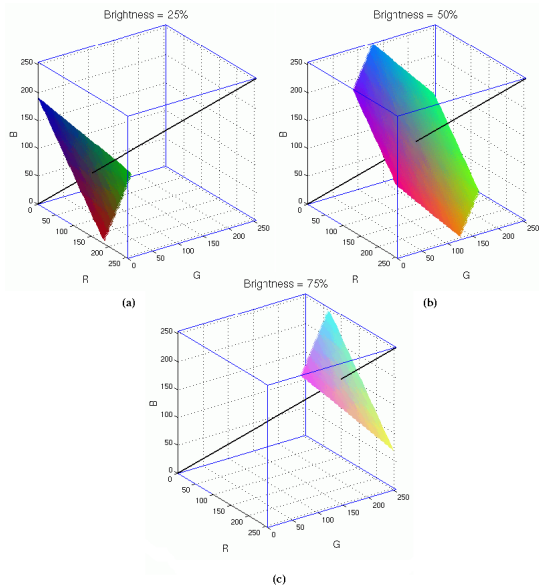
$$B = \frac{R+G+B}{3}$$

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

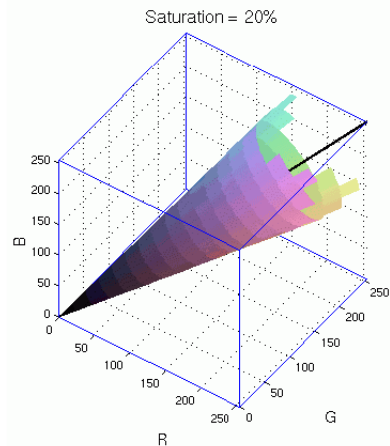
$$YY = 0.21R + 0.72G + 0.07B$$



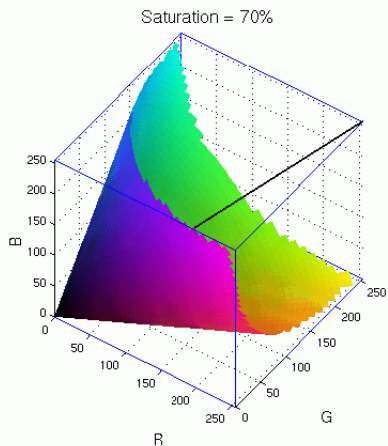
RGB $\rightarrow$ HSB



RGB $\rightarrow$ HSB

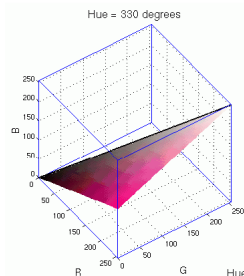


(a)

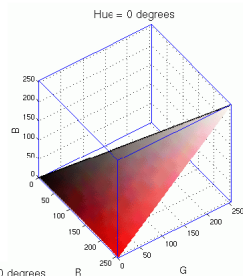


(b)

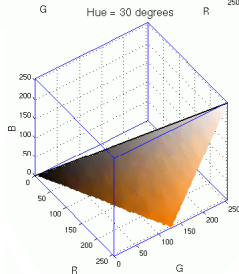
RGB $\rightarrow$ HSB



(a)



(b)



(c)

Commission Internationale de l'Eclairage Lab

- Standard CIE Lab zbliżony do ludzkiej percepcji koloru.

Commission Internationale de l'Eclairage Lab

- Standard CIE Lab zbliżony do ludzkiej percepcji koloru.
- CIE Lab jest matematyczną transformacją udoskonalonej przestrzeni XYZ (odnoszącej się do wrażliwości oka na różne długości światła).

- Standard CIE Lab zbliżony do ludzkiej percepcji koloru.
- CIE Lab jest matematyczną transformacją udoskonalonej przestrzeni XYZ (odnoszącej się do wrażliwości oka na różne długości światła).

$$L = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 16, \quad a = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right), \quad b = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right)$$

gdzie X_0, Y_0, Z_0 są współrzędnymi bieli.

- Standard CIE Lab zbliżony do ludzkiej percepcji koloru.
- CIE Lab jest matematyczną transformacją udoskonalonej przestrzeni XYZ (odnoszącej się do wrażliwości oka na różne długości światła).

$$L = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 16, \quad a = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right), \quad b = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right)$$

gdzie X_0, Y_0, Z_0 są współrzędnymi bieli.

- Zwykła odległość Euklidesowa $\sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ dobrze oddaje różnicowanie barw przez ludzkie oko (Lab pomyślana jest tak, by niwelować nieliniowe efekty XYZ)

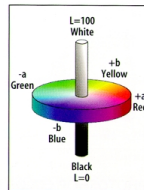
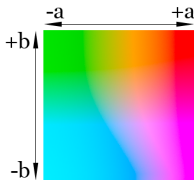
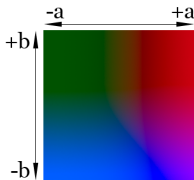
- Standard CIE Lab zbliżony do ludzkiej percepcji koloru.
- CIE Lab jest matematyczną transformacją udoskonalonej przestrzeni XYZ (odnoszącej się do wrażliwości oka na różne długości światła).

$$L = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 16, \quad a = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right), \quad b = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right)$$

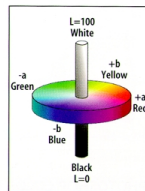
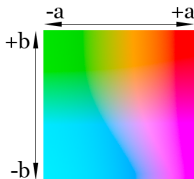
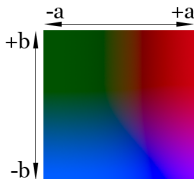
gdzie X_0, Y_0, Z_0 są współrzędnymi bieli.

- Zwykła odległość Euklidesowa $\sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ dobrze oddaje różnicowanie barw przez ludzkie oko (Lab pomyślana jest tak, by niwelować nieliniowe efekty XYZ)
- Ponieważ Lab jest w założeniu najwierniejszym modelem ludzkiej percepcji koloru, system ten jest stale doskonalony wraz z postęпами neurofizjologii.

Przestrzeń Lab

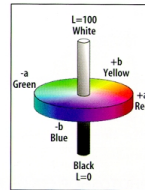
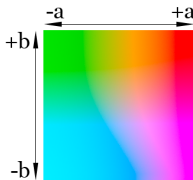
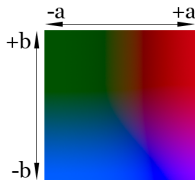


Lab model



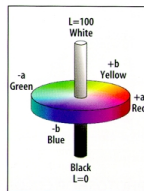
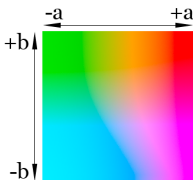
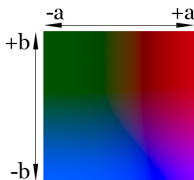
Lab model

- Gamut Lab jest większy niż zakres percepcji ludzkiego oka



Lab model

- Gamut Lab jest większy niż zakres percepcji ludzkiego oka
- Przestrzeń Lab jest uniwersalna, RGB i CMYK są sprzętowo zależne



Lab model

- Gamut Lab jest większy niż zakres percepcji ludzkiego oka
- Przestrzeń Lab jest uniwersalna, RGB i CMYK są sprzętowo zależne
- Profile ICC urządzeń: $\Phi : \mathcal{P}_u \rightarrow Lab$

monitor RGB $\xrightarrow{\Phi}$ Lab $\xleftarrow{\Psi}$ drukarka CMYK

Konwersja danych graficznych przez $\Psi^{-1} \circ \Phi$

Standardy: Pantone

- **Pantone** — międzynarodowy standard identyfikacji kolorów do celów przemysłowych (w tym poligraficznych) opracowany i aktualizowany przez amerykańską firmę Pantone Inc.



Standardy: Pantone

- **Pantone** — międzynarodowy standard identyfikacji kolorów do celów przemysłowych (w tym poligraficznych) opracowany i aktualizowany przez amerykańską firmę Pantone Inc.



- System Pantone standaryzuje kolory bazowe procesów CMYK

Standardy: Pantone

- **Pantone** — międzynarodowy standard identyfikacji kolorów do celów przemysłowych (w tym poligraficznych) opracowany i aktualizowany przez amerykańską firmę Pantone Inc.



- System Pantone standaryzuje kolory bazowe procesów CMYK
- Większość z 1114 podstawowych barw Pantone nie daje się wiernie reprezentować w procesie CMYK. Wymagają one użycia do 14 bazowych pigmentów.

Standardy: Pantone

- **Pantone** — międzynarodowy standard identyfikacji kolorów do celów przemysłowych (w tym poligraficznych) opracowany i aktualizowany przez amerykańską firmę Pantone Inc.



- System Pantone standaryzuje kolory bazowe procesów CMYK
- Większość z 1114 podstawowych barw Pantone nie daje się wiernie reprezentować w procesie CMYK. Wymagają one użycia do 14 bazowych pigmentów.
- Wiele krajów używa standardu Pantone do precyzyjnego określania barw swoich flag narodowych.