



Technical University of Lodz

Institute of Electronics

Piotr M. Szczypiński

Image Processing and Computer Graphics

1. COLORS

Przetwarzanie obrazów i grafika komputerowa

1. KOLORY

Abstract

Sight is one of the senses that allows us to perceive the world. How we see determines the way in which we develop image acquisition, storage, processing and presentation technology.

The lecture covers issues related to the construction of the human eye and the phenomenon of color vision. Human vision is compared to the vision of other animals.

Selected color models and their applications in photography, television and digital imaging techniques are discussed.

In the final part, imaging technologies are mentioned that go beyond capabilities of natural human vision.

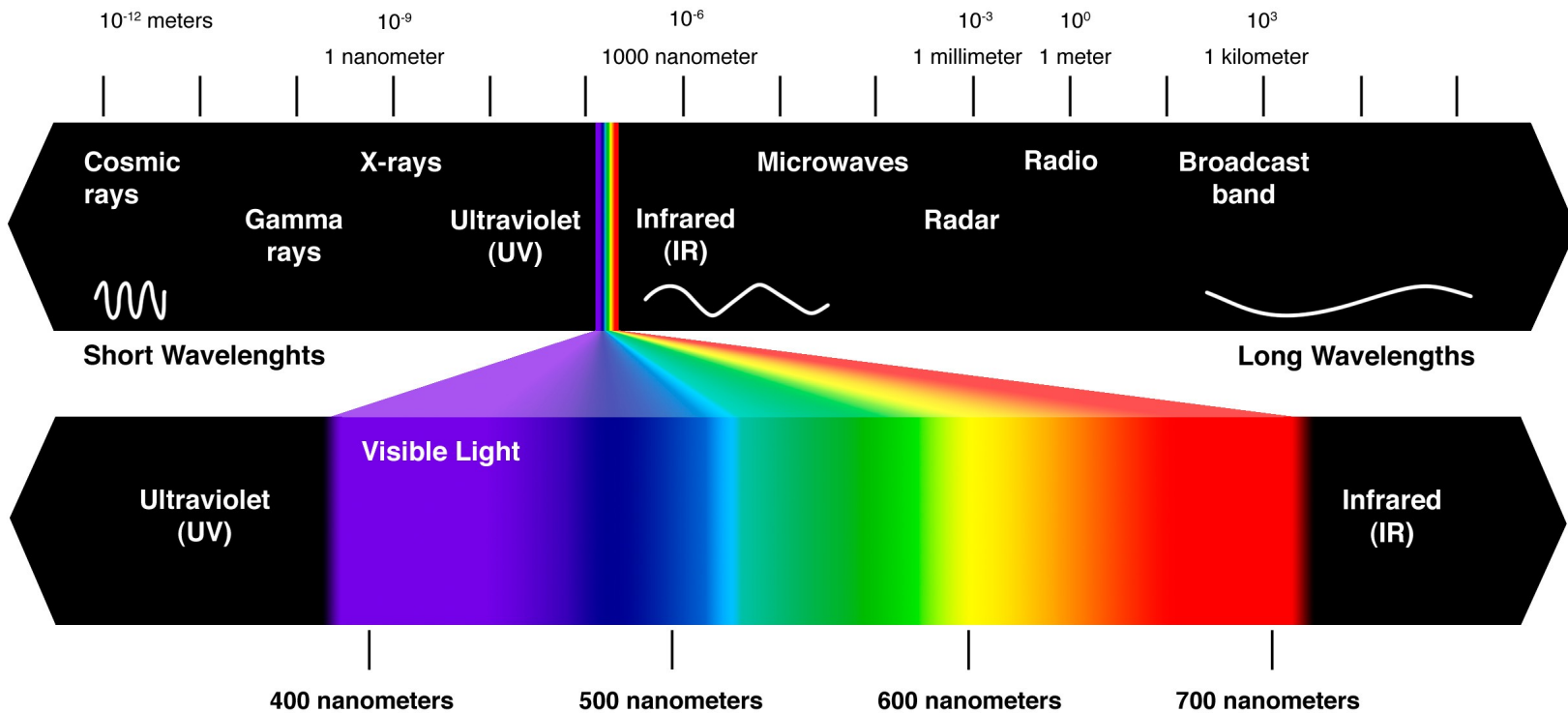
Streszczenie

Wzrok jest jednym ze zmysłów pozwalającym postrzegać świat. Ma on cechy, które determinują sposób w jaki od lat budujemy narzędzia do akwizycji, transmisji i prezentacji obrazów. Zastany stan technologii obrazowania wizyjnego determinuje z kolei rozwój technik analizy obrazów.

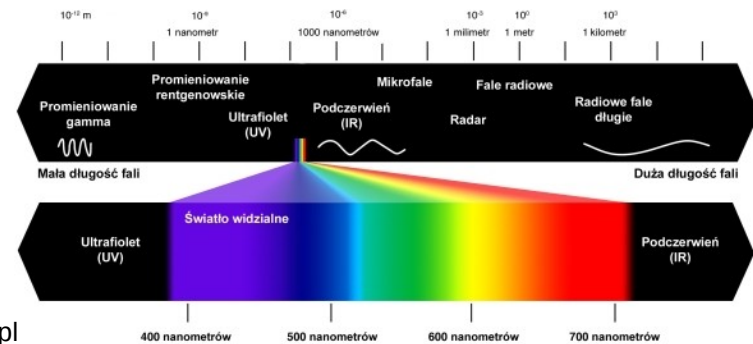
Wykład obejmuje zagadnienia związane z budową ludzkiego oka oraz ze zjawiskiem widzenia barw. Widzenie człowieka porównano ze sposobem w jaki widzą zwierzęta. W dalszej części omówiono wybrane modele kolorów oraz ich zastosowania w fotografii, telewizji oraz cyfrowych technikach obrazowania.

W końcowej części wskazano technologie obrazowania wykraczające poza możliwości naturalnego widzenia człowieka, takie jak termowizja, obrazowanie multispektralne oraz obrazowanie rezonansu magnetycznego.

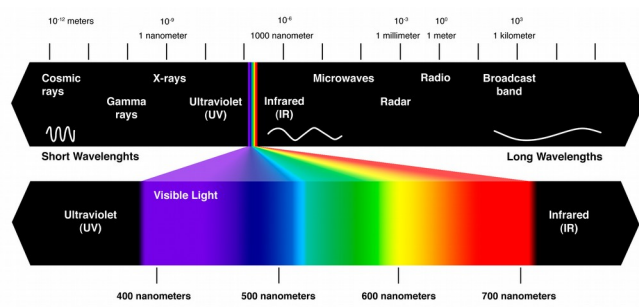
Sight
Wzrok



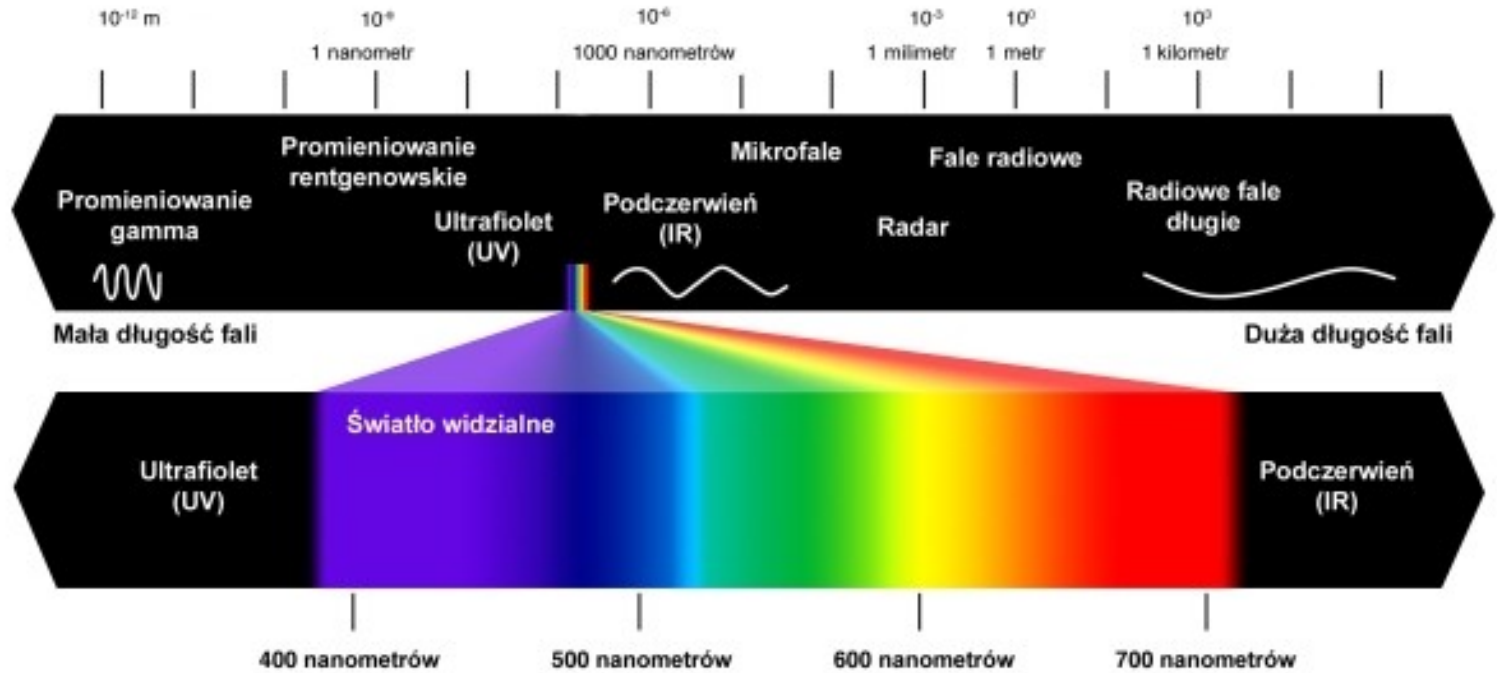
<https://www.cteonline.org/resources>



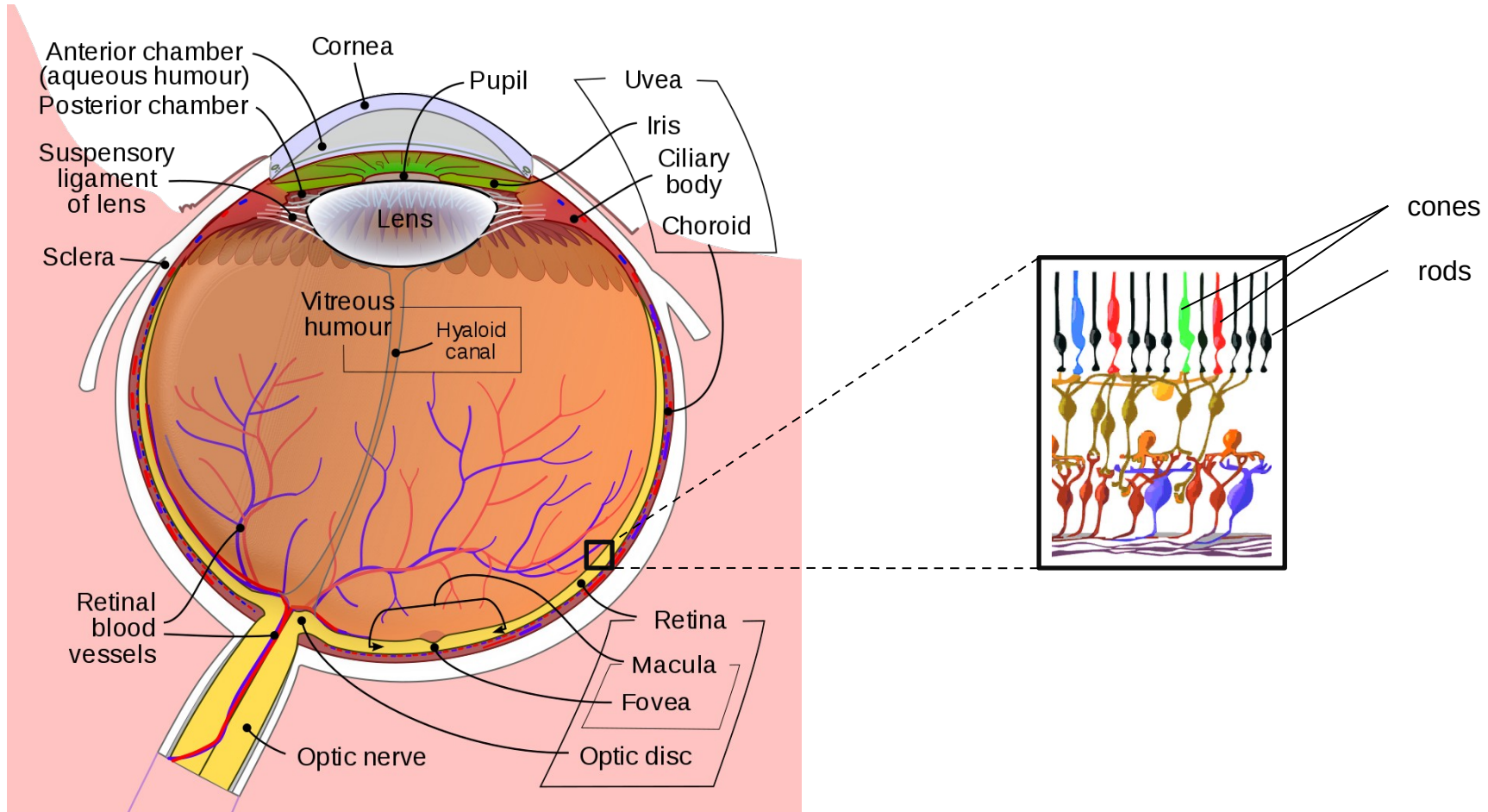
<https://www.lenalighting.pl>



<https://www.cteonline.org/resources>

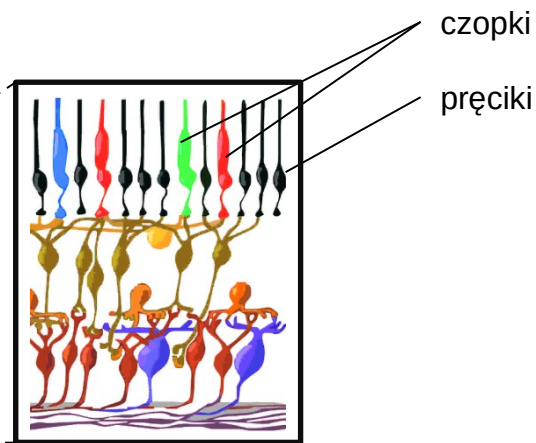
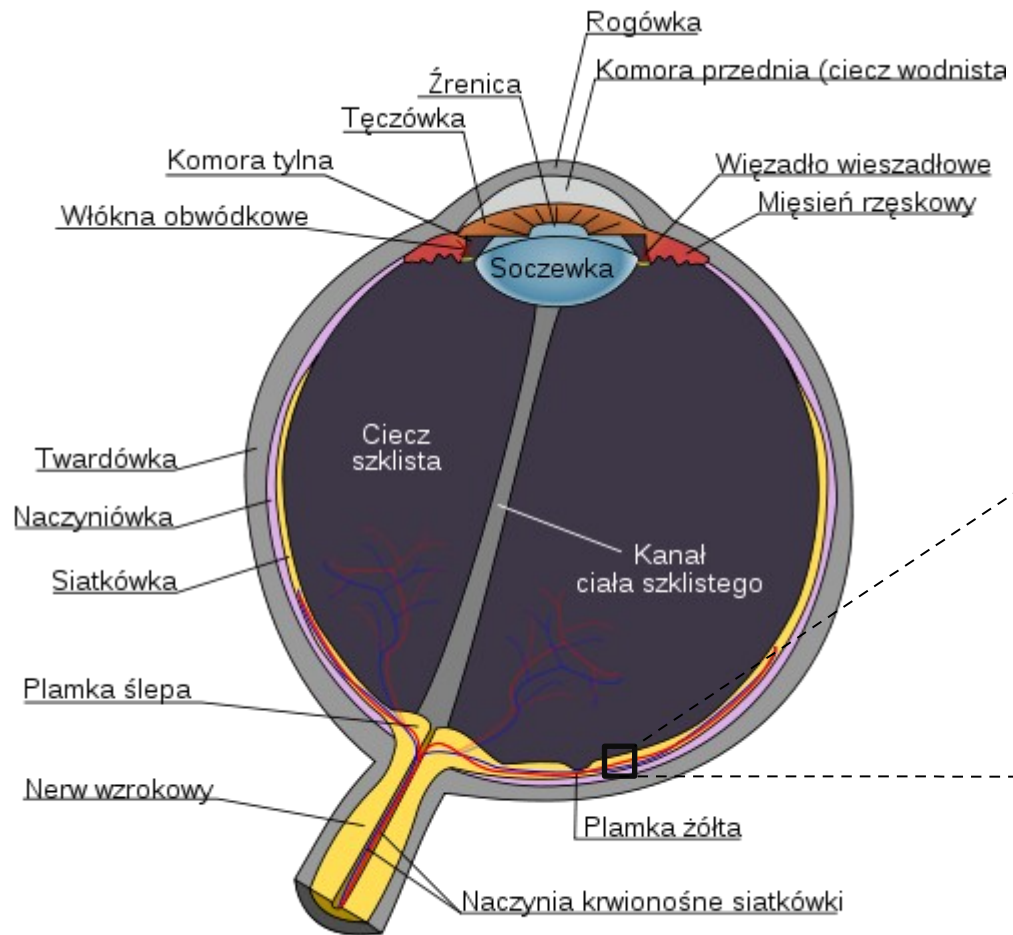


<https://www.lenalighting.pl>



https://en.wikipedia.org/wiki/Eye#/media/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_en.svg

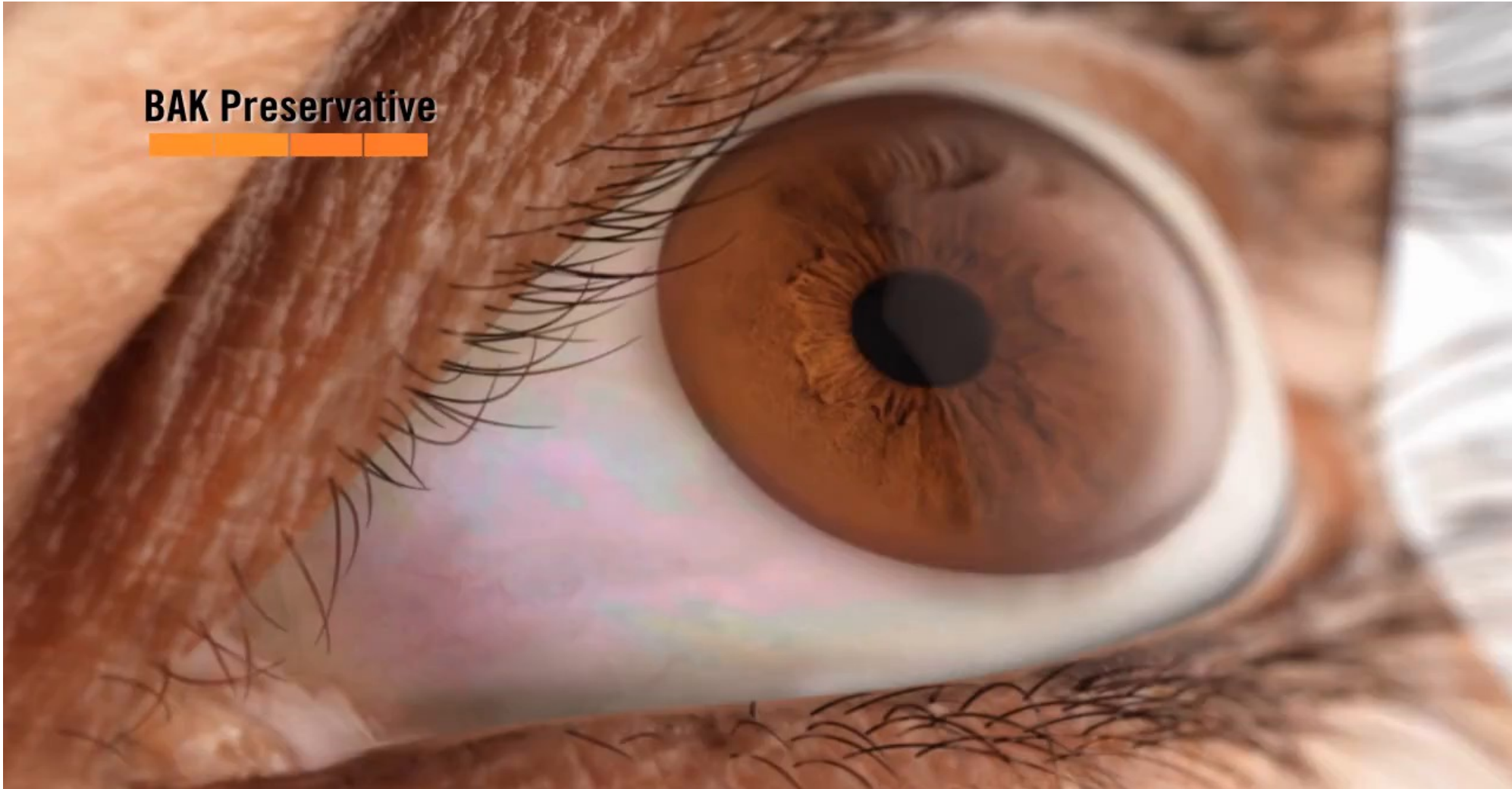
http://www.herseninstituut.knaw.nl/research_groups/kamermans_group/research_line_1



http://pl.wikipedia.org/wiki/Schematic_diagram_of_the_human_eye_pl.svg

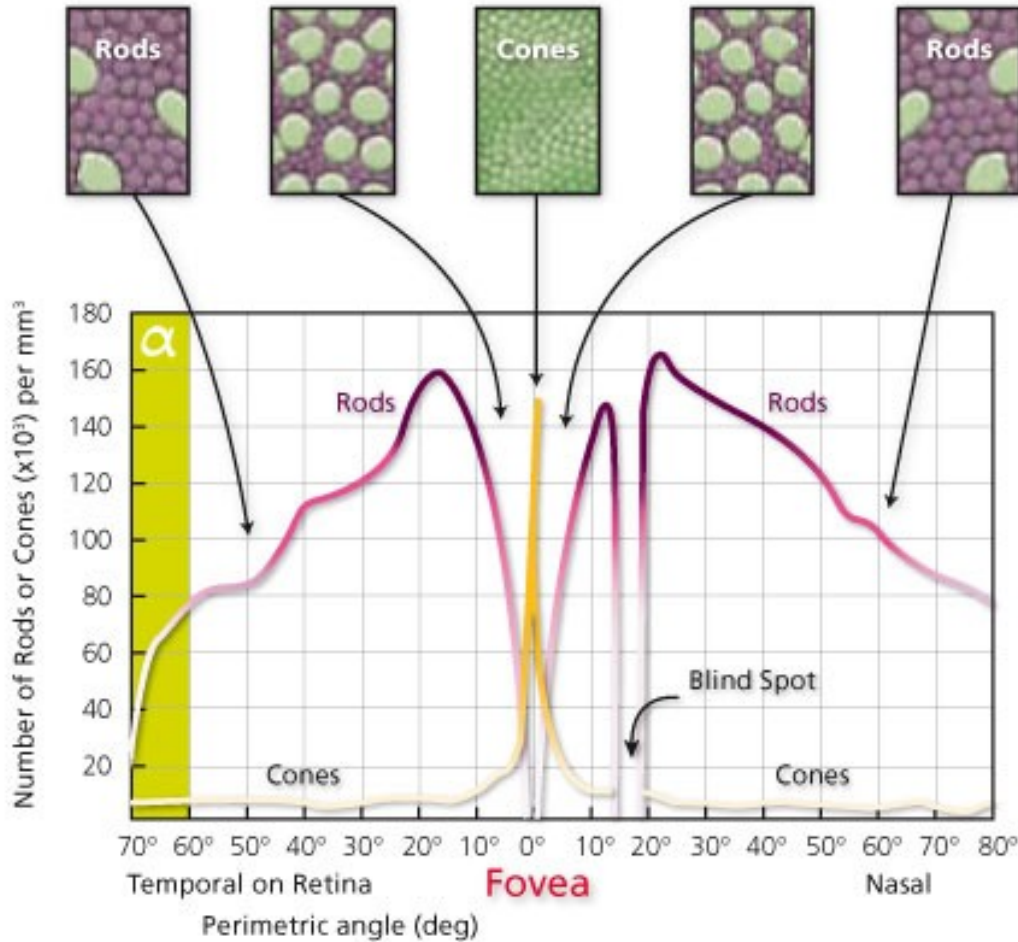
http://www.herseninstituut.knaw.nl/research_groups/kamermans_group/research_line_1

BAK Preservative





Structure and working of Human Eye



Cones 6 - 7 mln, mostly in fovea

Red (L 420–440 nm) 50-75%

Green (M 534–545 nm) 20-44%

Blue (S 564–580 nm) 2-4%

Rods 100 - 120 mln

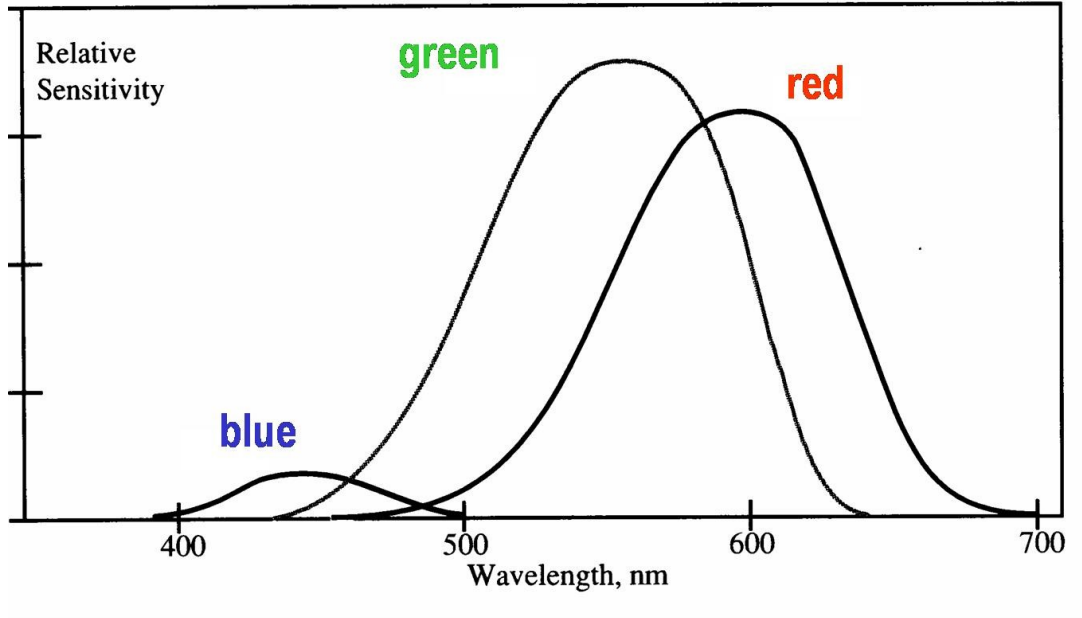
Peripheral seeing

https://en.wikipedia.org/wiki/Cone_cell

E. Hecht, Optics, Addison Wesley, 1987

<http://www.sharp-sighted.org/>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/rodcone.html>



Cones 6 - 7 mln, mostly in fovea

Red (L 420–440 nm) 50-75%

Green (M 534–545 nm) 20-44%

Blue (S 564–580 nm) 2-4%

Rods 100 - 120 mln

Peripheral seeing

https://en.wikipedia.org/wiki/Cone_cell

BuzzFeed

presents

HOW ANIMALS SEE THE WORLD

Bees and bumblebees can see in three colors, insensitive to infrared, sensitive to ultraviolet

Papilio butterflies have six types of photoreceptors and see pentachromatically

Fish and birds - four types of cones (tetrachromaticity)

Monkeys - in many species males are dichromatic, and about 60% of females are trichromatic

Night monkeys have only monochrome suppositories



Mantis shrimp (stomatopoda)
12 types of receptors sensitive to various wavelengths

Pszczoly i trzmiele widzą w trzech barwach, nieczułe na podczerwień, wrażliwe na ultrafiolet

Motyle Papilio posiadają sześć typów fotoreceptorów i widzą pentachromatycznie

Ryby i ptaki – cztery rodzaje czopków (terachromatyczność)

Małpy - u wielu gatunków samce są dichromatyczne, a około 60% samic jest trichromatycznych

Małpy nocne mają czopki tylko monochromatyczne



Ustonogie (stomatopoda) mają 12 różnych receptorów widmowych



Discoveries
Odkrycia



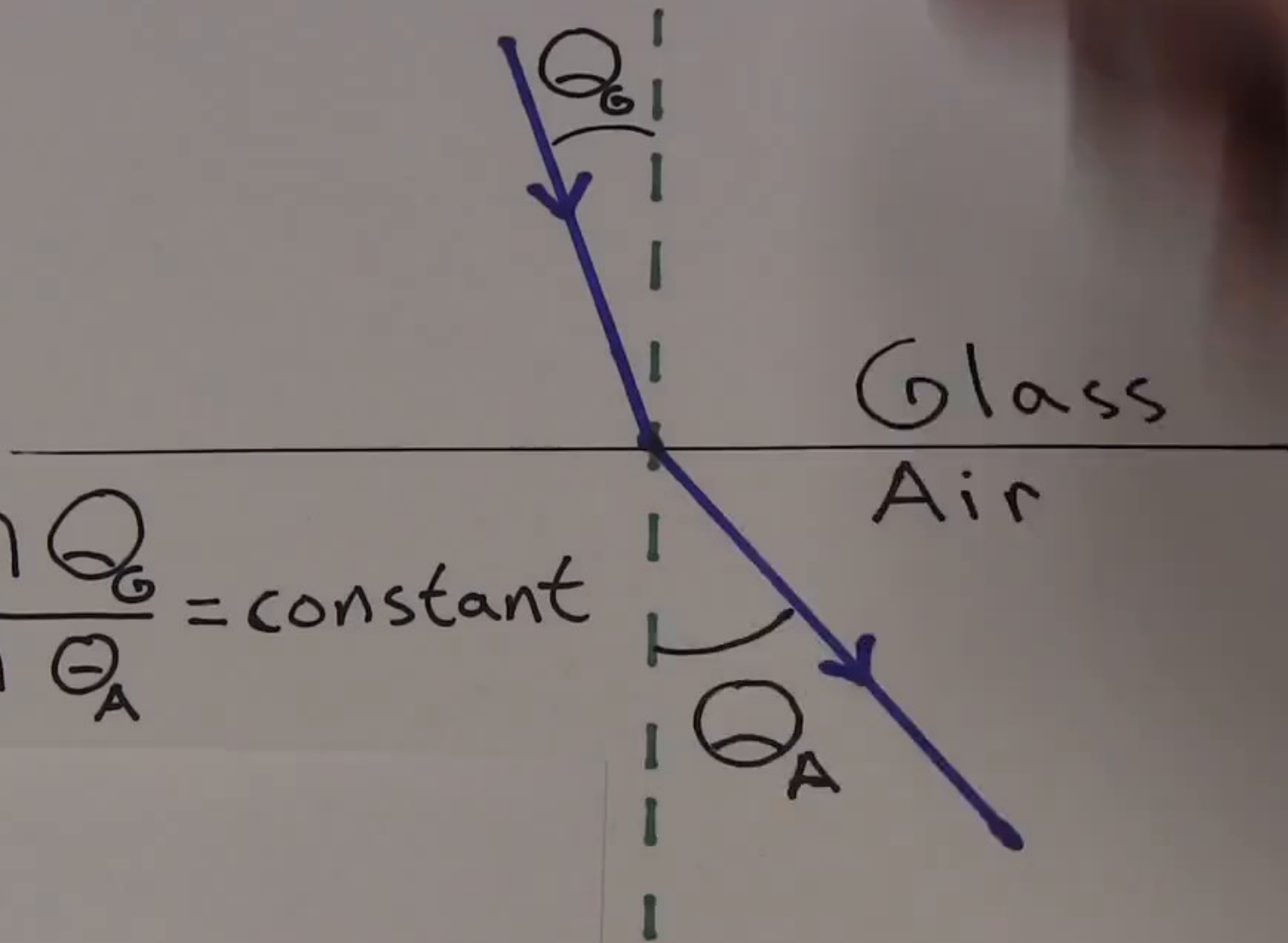
Isaac Newton (1643 - 1727) – angielski fizyk, matematyk, astronom, filozof, historyk, badacz Biblii i alchemik. Odkrywca trzech zasad dynamiki.

Od 1670 do 1672 wykładał optykę. Badał załamanie (refrakcję) światła, wykazał, że pryzmat może rozszczepić białe światło w widmo barw, a soczewka i drugi pryzmat umożliwiają uzyskanie białego światła z kolorowego widma.



https://pl.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

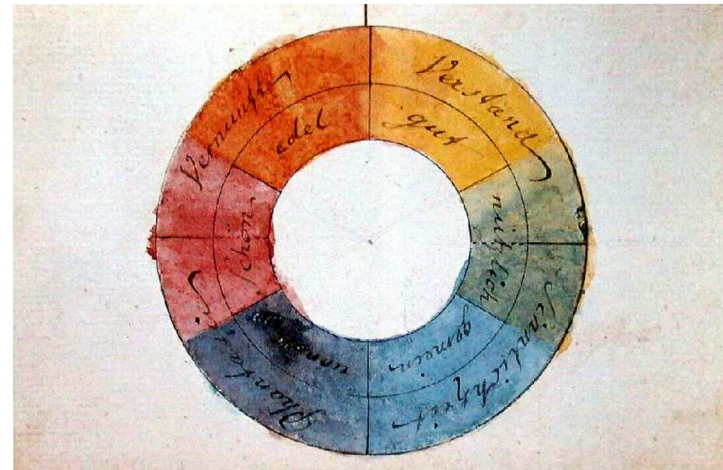
$$\frac{\sin \theta_G}{\sin \theta_A} = \text{constant}$$





Johann Wolfgang von Goethe (1749 - 1832)
– niemiecki poeta, dramaturg, prozaik,
uczony, polityk i wolnomularz.

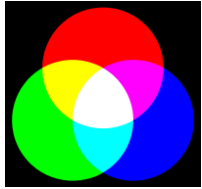
Badał zjawisko koloru, opracował model
kołowy barw, wykazał istnienie trzech barw
podstawowych. Przez łączenie tych barw
można uzyskać dowolny kolor widziany
przez człowieka.



Color models

Modele kolorów

Synteza koloru



Model addytywny

Składowe (barwy podstawowe):

R – czerwony

G – zielony

B – niebieski



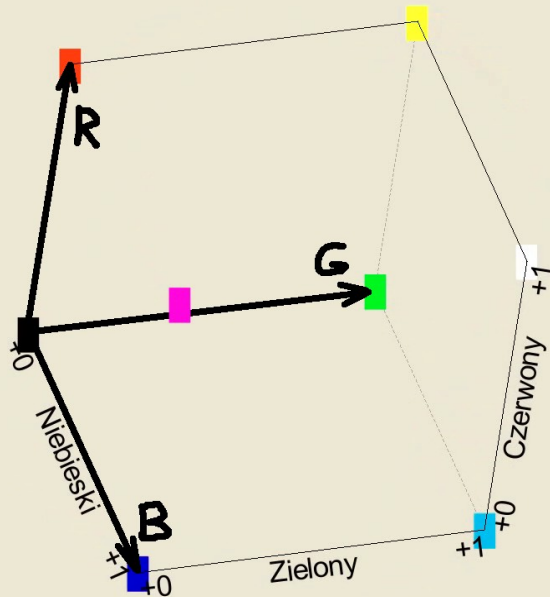
Model subtraktywny

Filtry (barwy dopełniające):

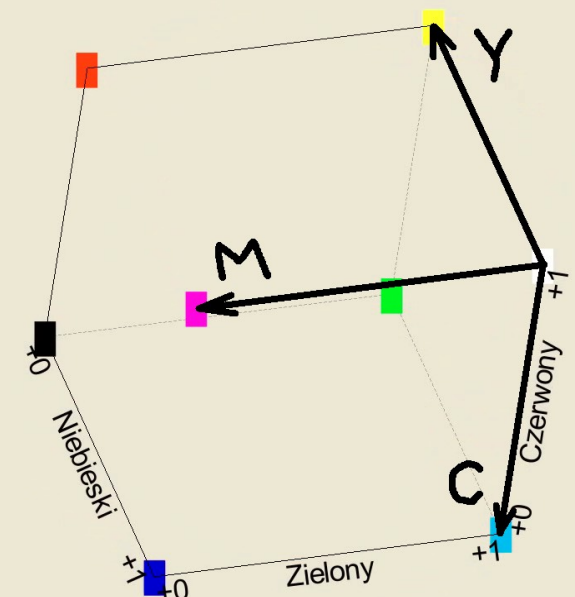
C – turkusowy

M – fioletowy

Y – żółty



$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



Additive Color Model

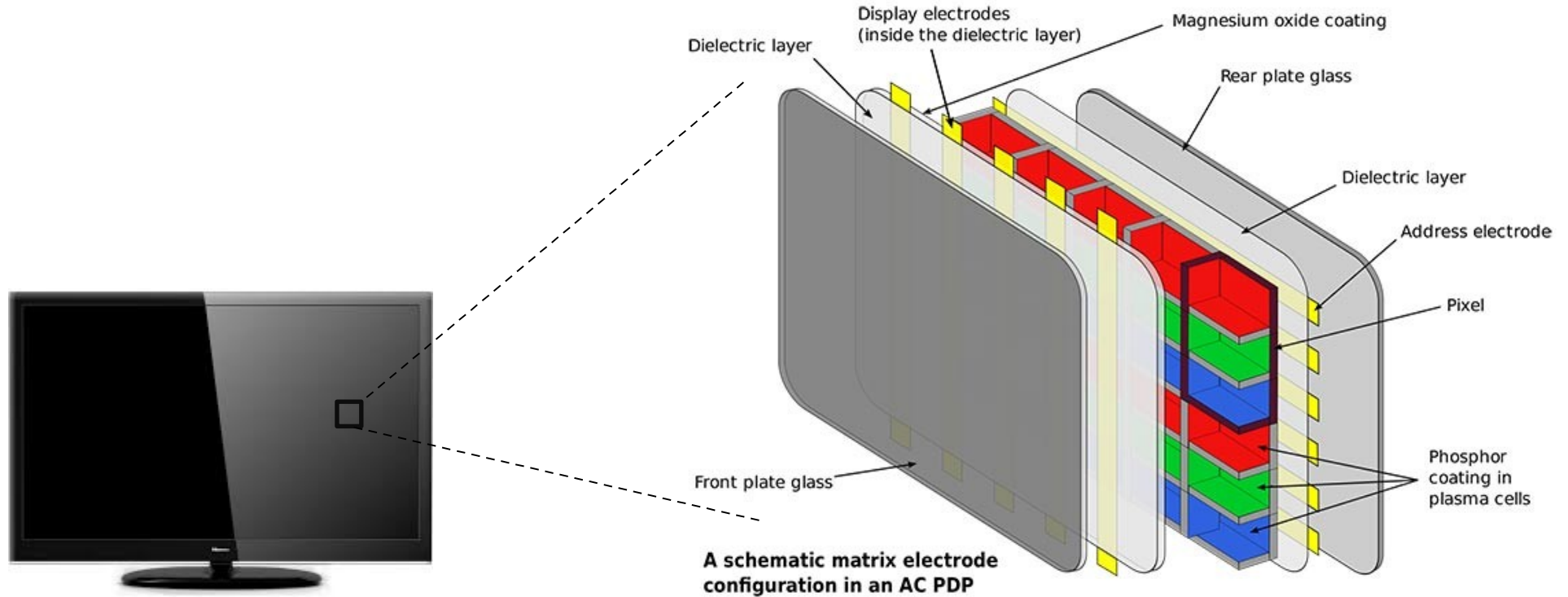
Red/Green/Blue lights

RGB - zastosowania



Emir of Bukhara, 1911
Sergei Mikhailovich Prokudin-Gorskii
Kolejno wykonane trzy zdjęcia z użyciem różnych filtrów

RGB - zastosowania





Levels

Adjust Color Levels

114-1416_IMG.JPG-8 ([114-1416_IMG] (exported))

Presets: + ⌵

Channel: ⌵ ⌵ ⌵

Input Levels

0 255

Output Levels

0

All Channels

Edit these Settings as Curves

Preview

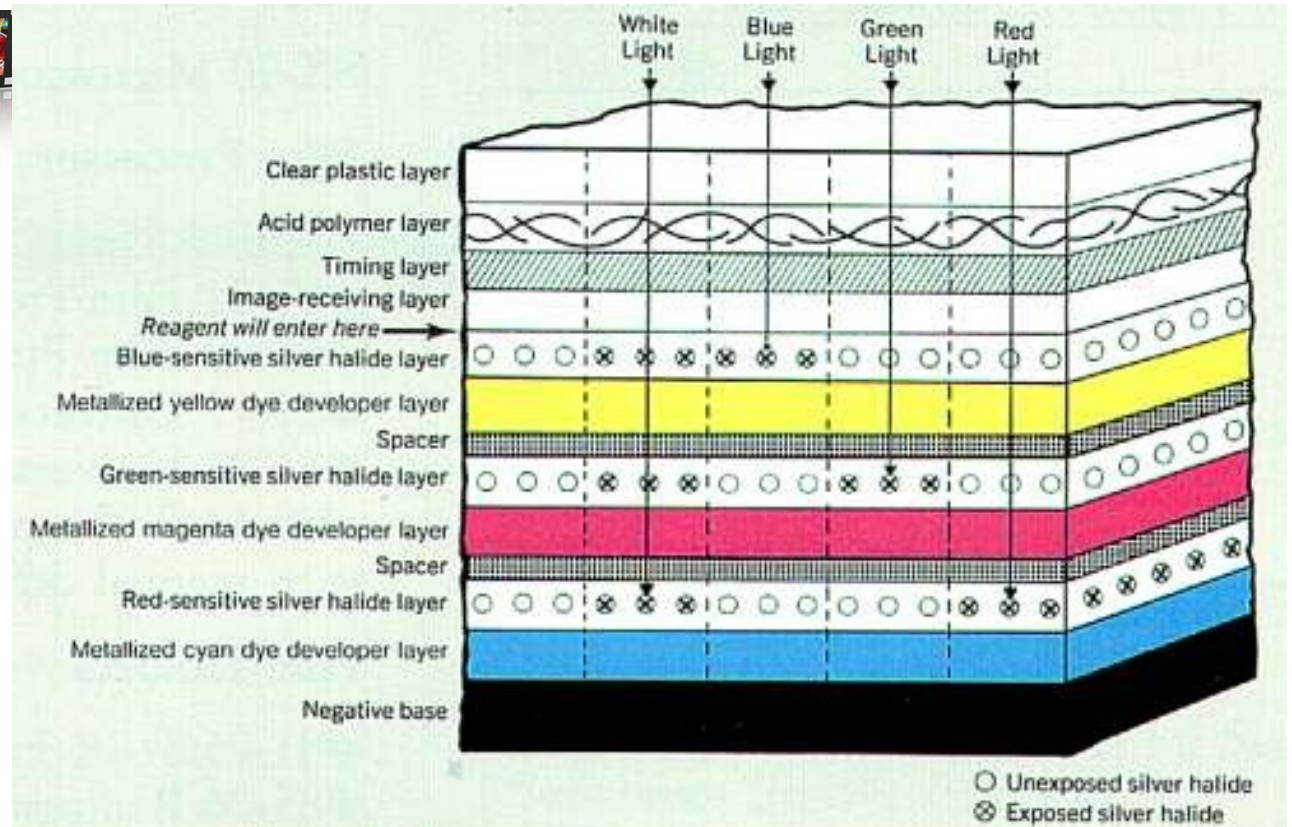
CMY



Agen, Francja
Louis Ducos du Hauron, 1877

Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Subtractive_color

CMY



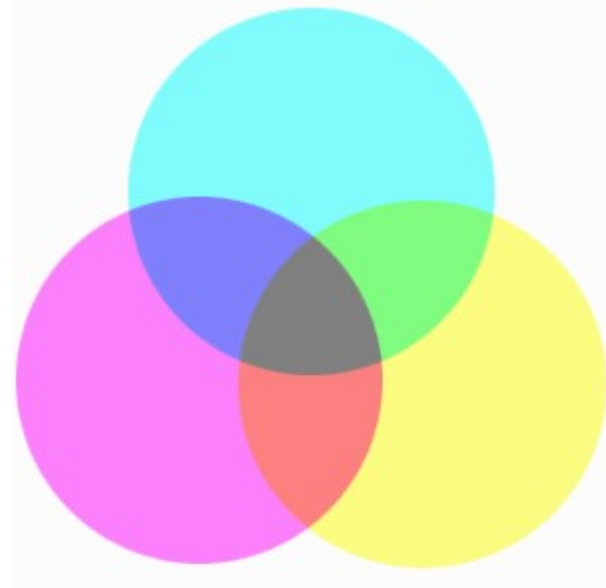
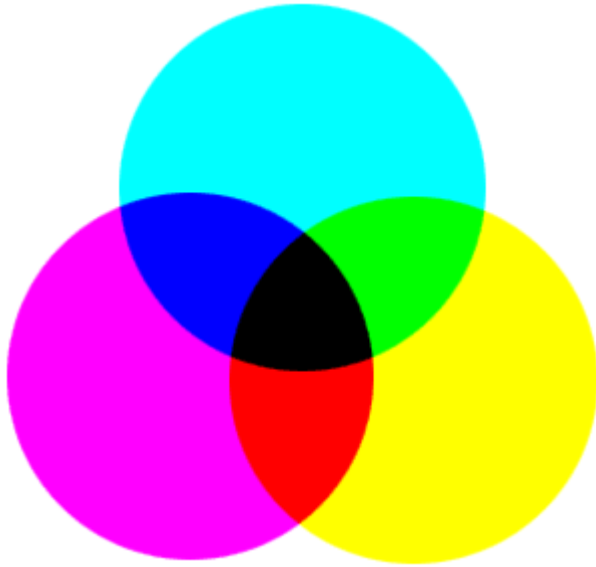
1972. A schematic of SX-70 film during exposure.

Gamut

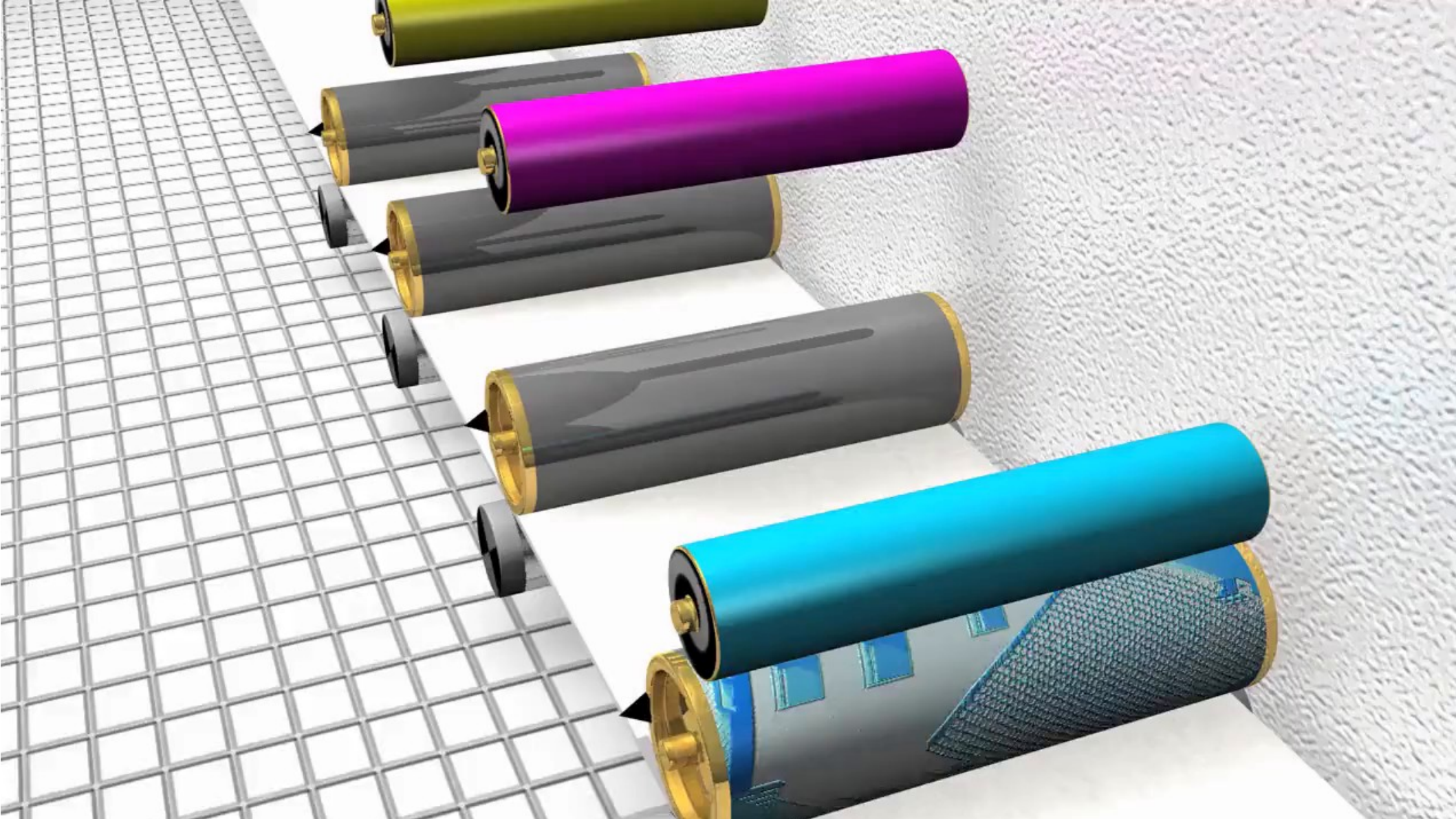


<https://en.wikipedia.org/wiki/Gamut>

Gamut



Solution to improve gamut in printers: CMYK
https://en.wikipedia.org/wiki/CMYK_color_model



Development
Rozwój technologii



PATENT-SCHRIFT

— № 30105 —

KLASSE 21: ELEKTRISCHE APPARATE.

PAUL NIPKOW IN BERLIN.

Elektrisches Teleskop.

Patentirt im Deutschen Reiche vom 6. Januar 1884 ab.

eschreibende Apparat hat den | durchlaufenden polarisirten |



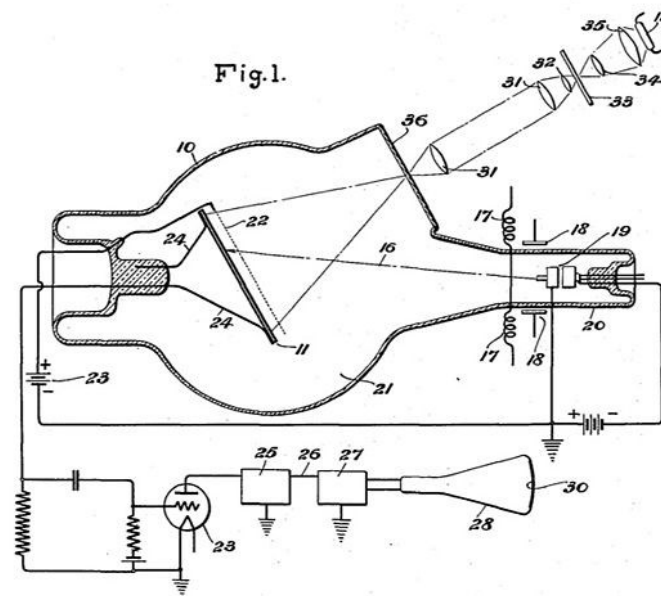
Nov. 26, 1935.

V. K. ZWORYKIN

2,021,907

METHOD OF AND APPARATUS FOR PRODUCING IMAGES OF OBJECTS

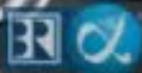
Filed Nov. 13, 1931



Kamera z ikonoskopem Władimira Zworykina

<http://www.radiomuseum.org>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Iconoscope>



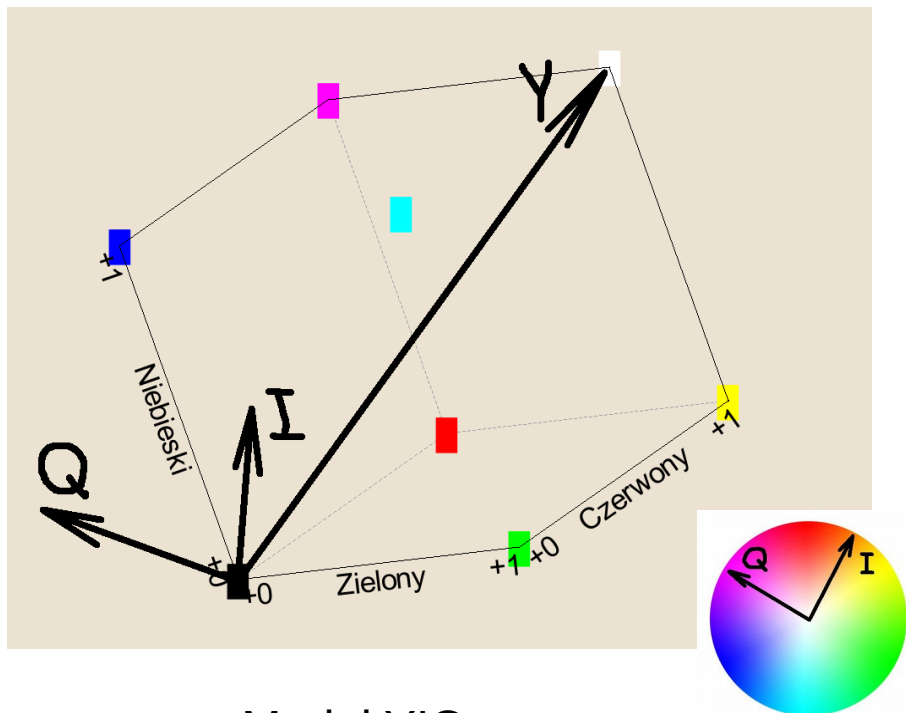
1889 - 1982

National
Television
System
Committee



<https://en.wikipedia.org/wiki/NTSC>

Luminance, chrominance, YIQ



Model YIQ

From RGB to YIQ [[edit](#)]

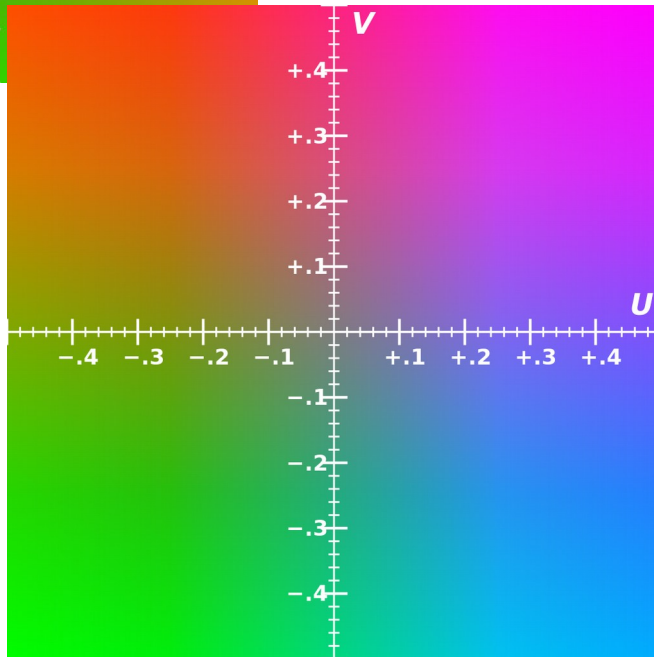
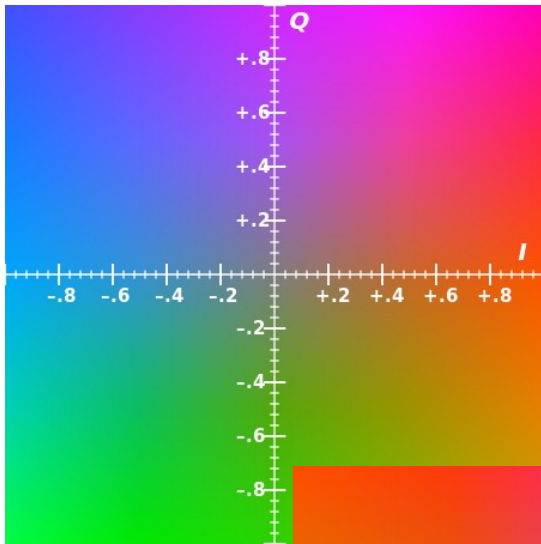
$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

From YIQ to RGB [[edit](#)]

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956 & 0.619 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

<https://en.wikipedia.org/wiki/YIQ>

Another one



Model YUV (YPbPr, YCbCr)

$$Y = 0.2126 R + 0.7152 G + 0.0722 B$$

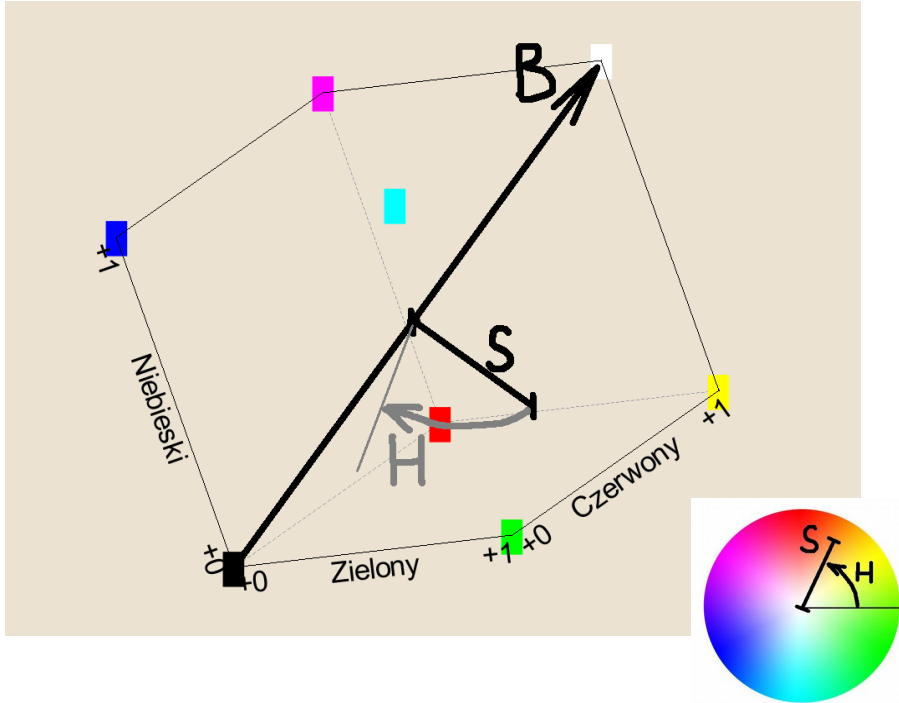
$$Pb = B - Y$$

$$Pr = R - Y$$

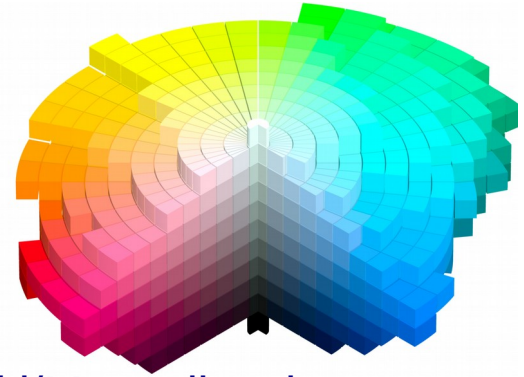
Application in European Phase
Alternating Line (PAL) television system

<https://en.wikipedia.org/wiki/PAL>

HSB



Model HSB (HSL, HSV)

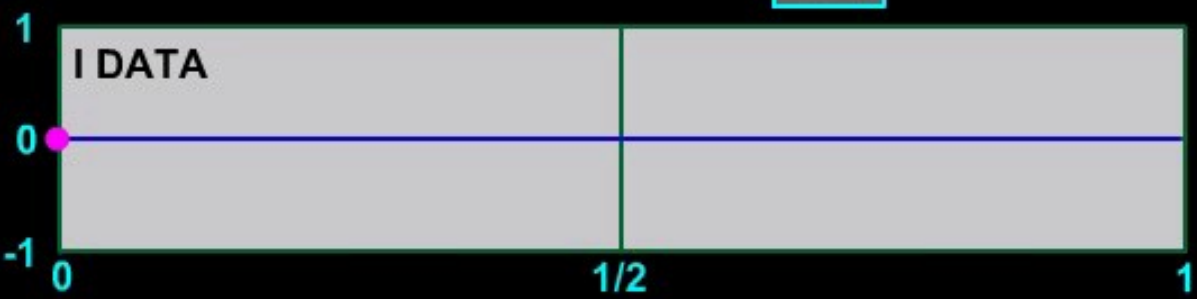
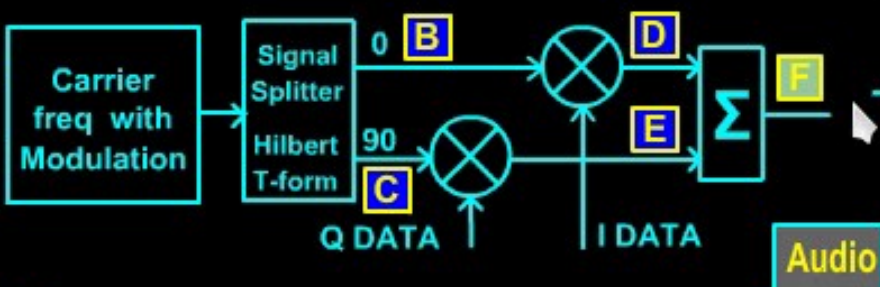
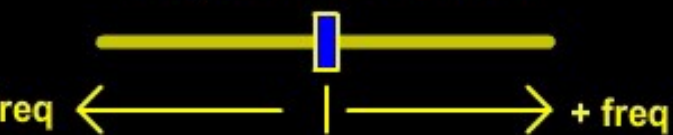


https://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system

Using I-Q Modulation to Offset Frequency

Audio

Vary Carrier Freq: 20



Click and drag mouse anywhere in circle



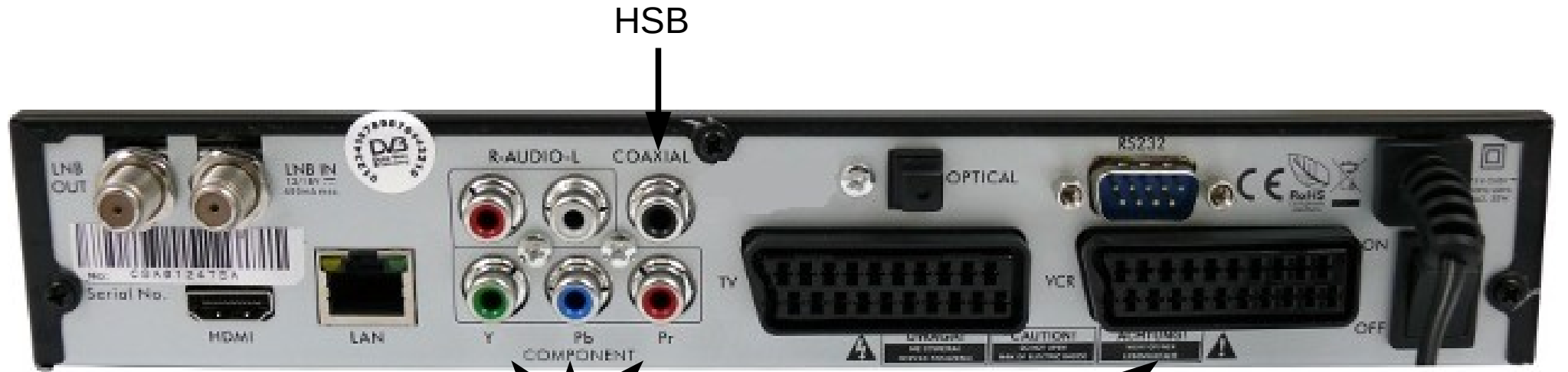
Audio

Freq Offset

- 1
- 2
- 4
- 8

- GO
- STOP
- Pos
- Neg

Output Freq: 20 + 0

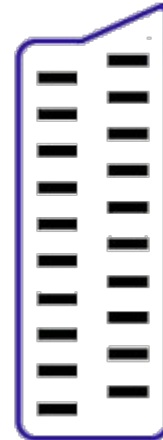


↑
YUV
RGB

↙ ↘
YUV

↙ ↘
RGB

- composit video output 19
- video ground 17
- RGB red input 15
- RGB red ground 13
- RGB green input 11
- RGB green ground 9
- RGB blue input 7
- RGB blue ground 5
- audio out left 3
- audio out right 1



- 20 composit video input
- 18 RGB blanking ground
- 16 RGB blanking
- 14 spare
- 12 spare
- 10 spare
- 8 switch (+12v)
- 6 audio in left
- 4 audio ground
- 2 audio in right



Hue-Saturation

Adjust Hue / Lightness / Saturation
114-1416_IMG.JPG-8 ([114-1416_IMG] (exported))

Presets: +

Select Primary Color to Adjust

R Y M G B C

Master

Overlap: 0

Adjust Selected Color

Hue: 0

Lightness: 0

Saturation: 0

Preview

Digital Cyfrowość

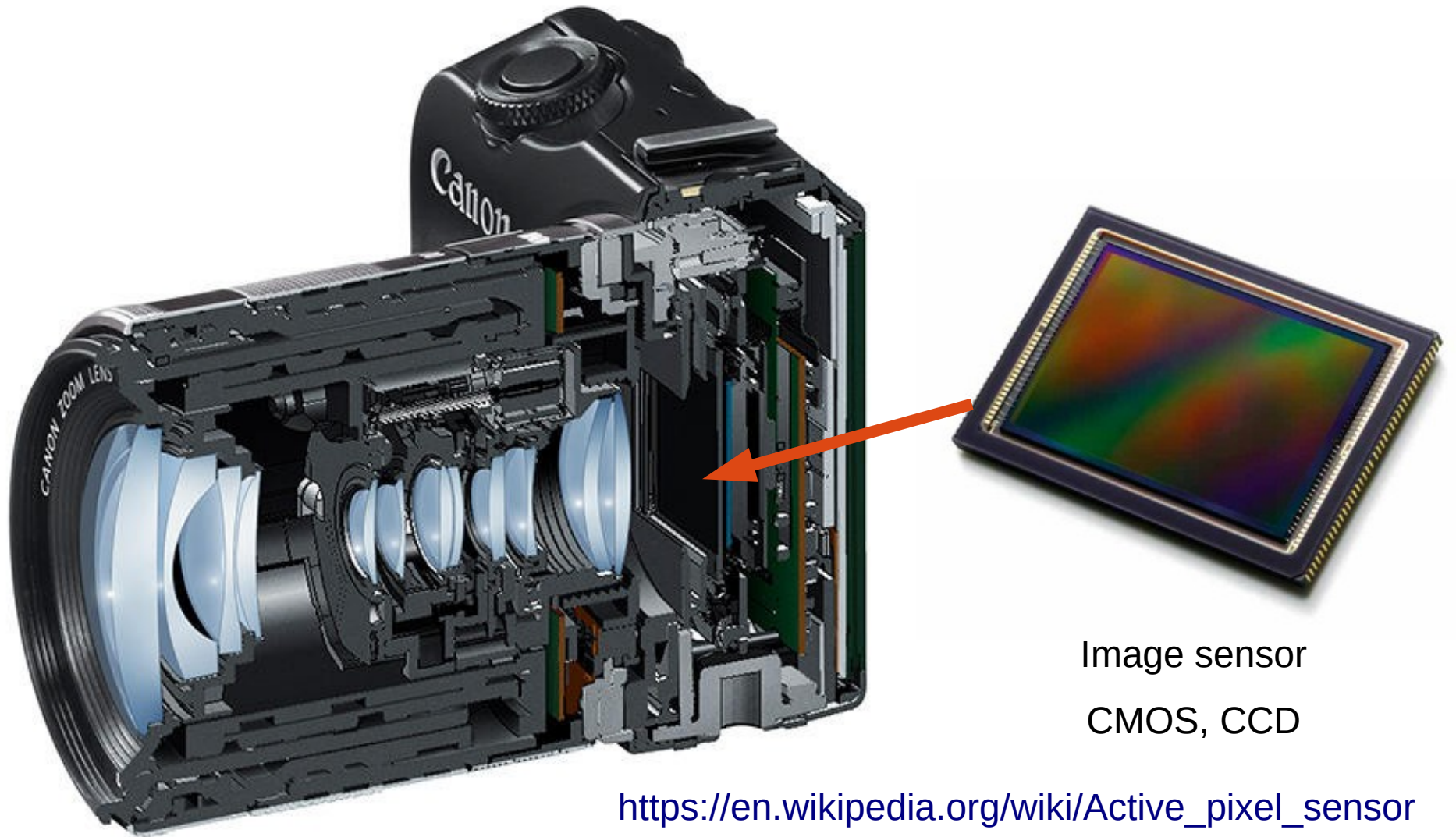
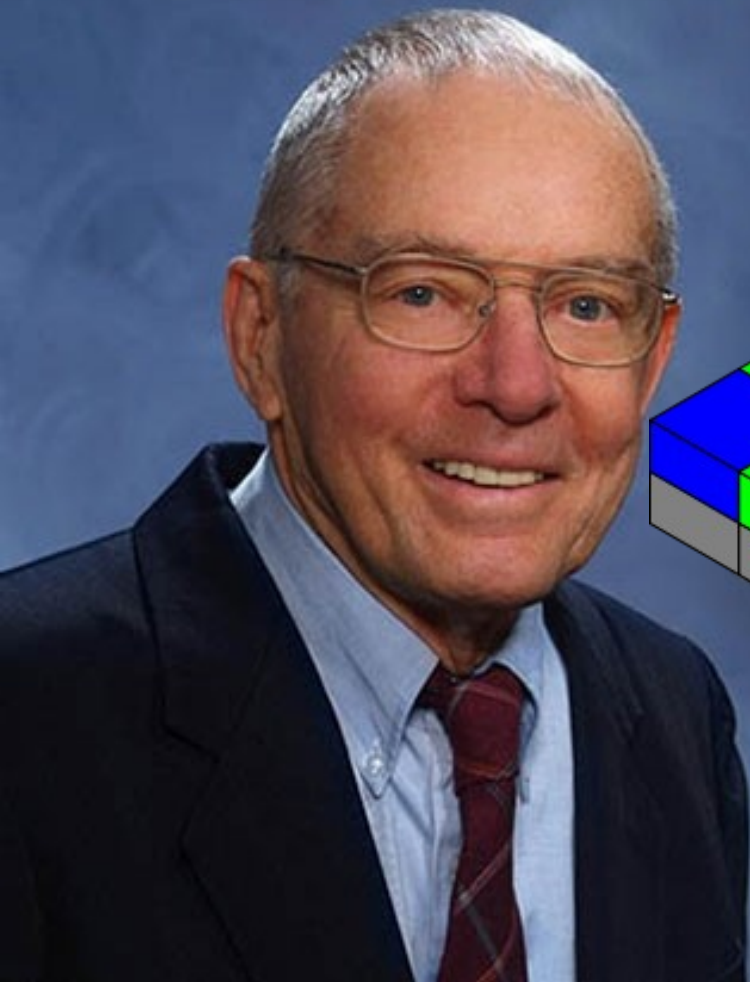
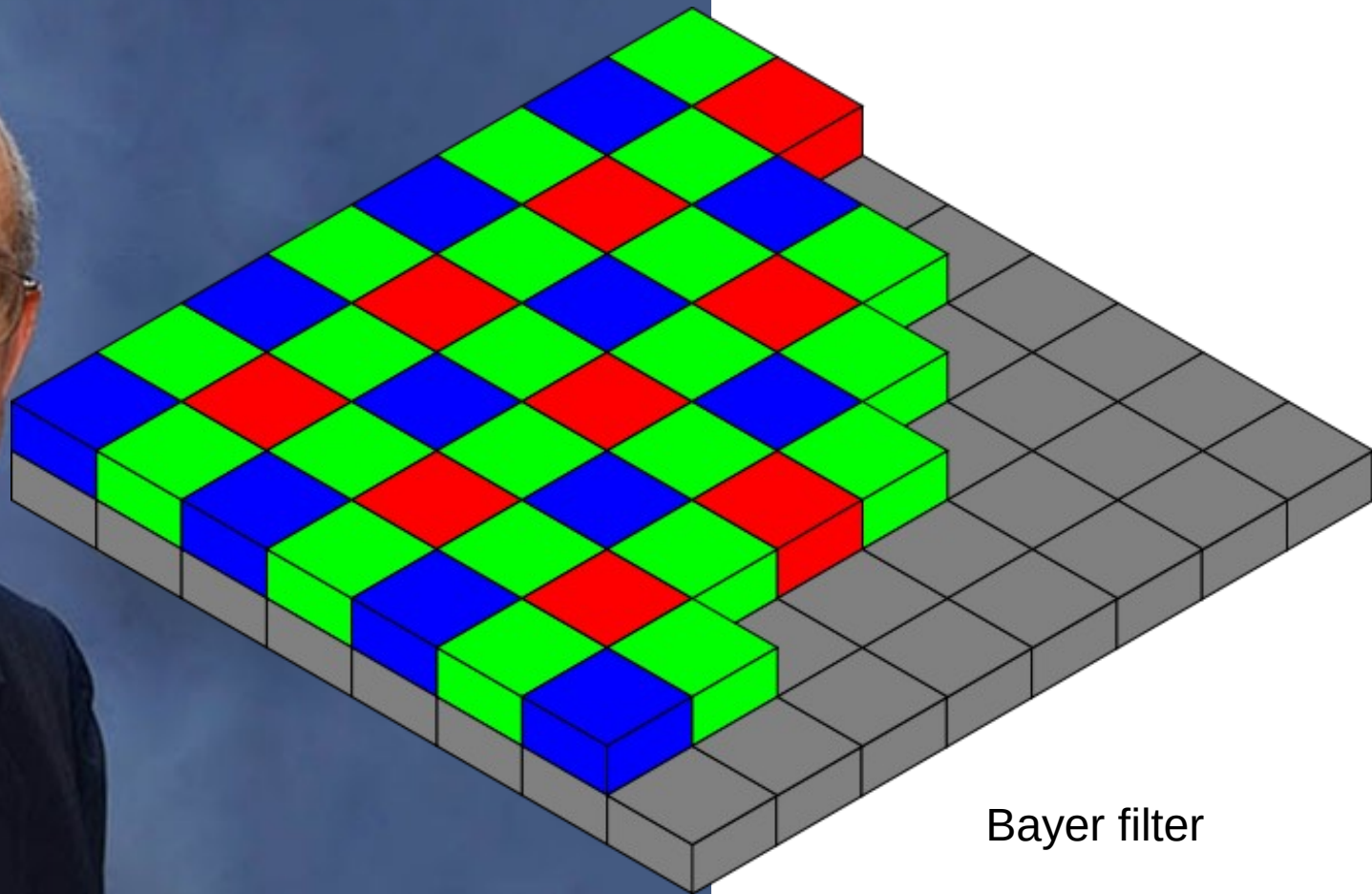


Image sensor
CMOS, CCD

https://en.wikipedia.org/wiki/Active_pixel_sensor

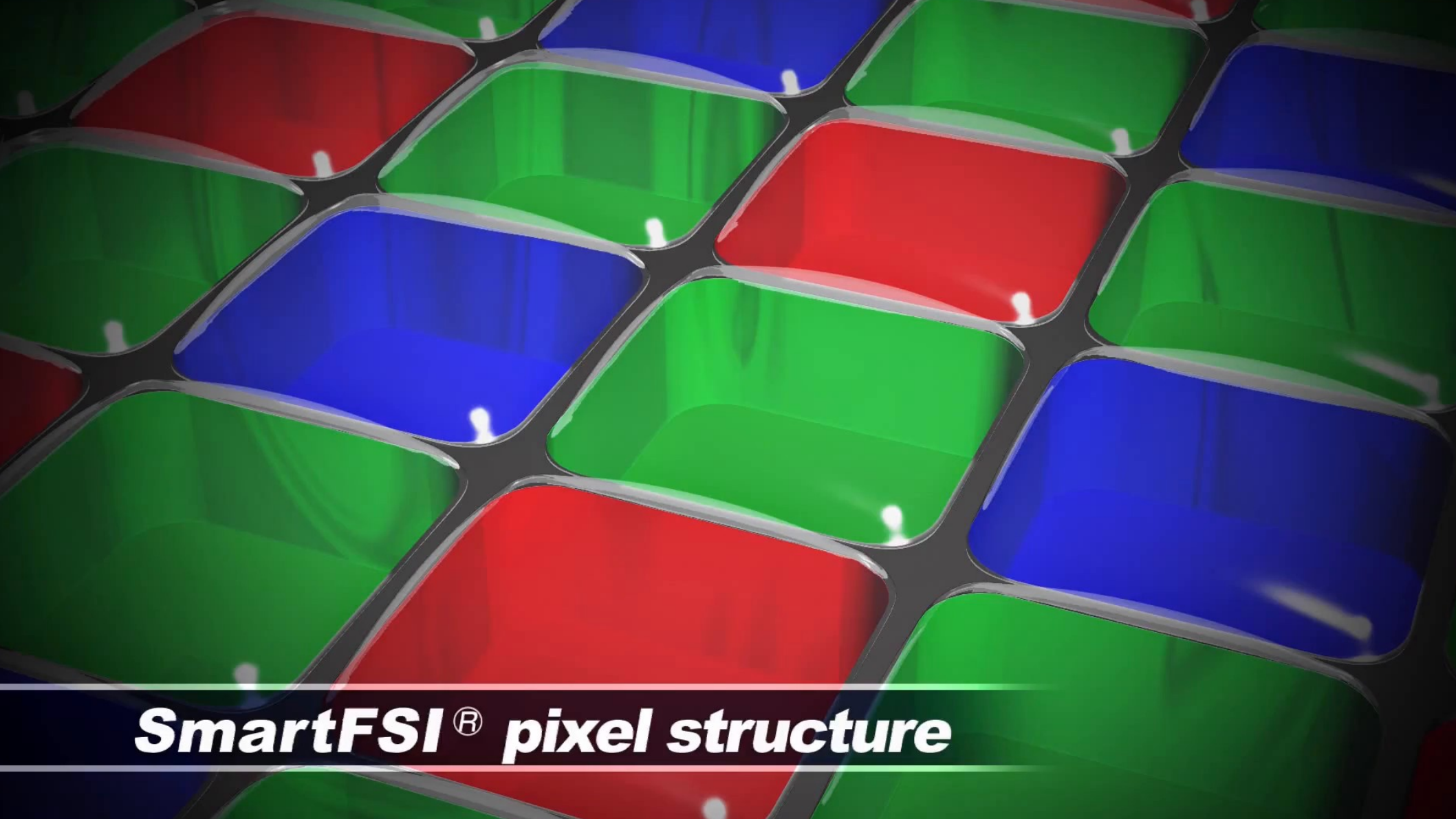


Bryce E. Bayer (1929 – 2012)



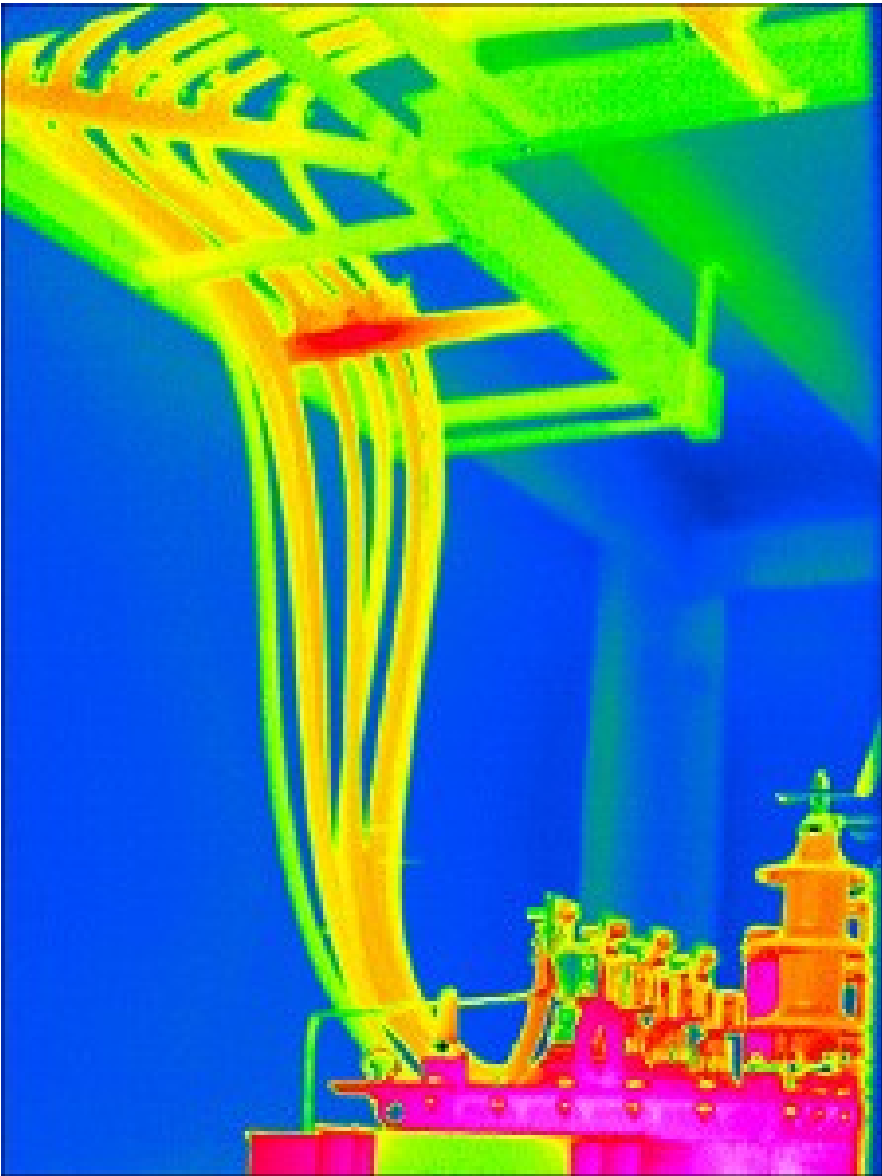
Bayer filter

Interpolation is required!

A close-up, 3D-rendered view of a pixel structure. The image shows a grid of rounded square pixels, each with a distinct color: red, green, and blue. The pixels are arranged in a staggered pattern, with red pixels in the center of each 2x2 block, green pixels at the corners, and blue pixels at the midpoints of the sides. The surface of the pixels is highly reflective, showing bright highlights and deep shadows that give them a three-dimensional appearance. The background is dark, making the vibrant colors of the pixels stand out.

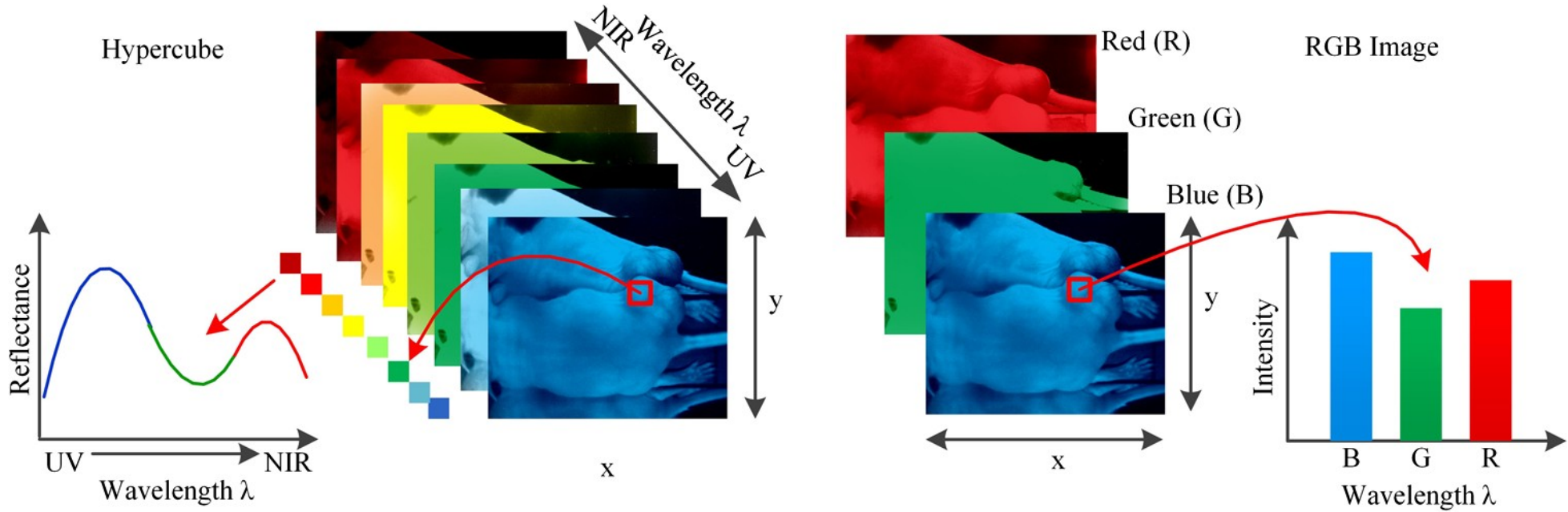
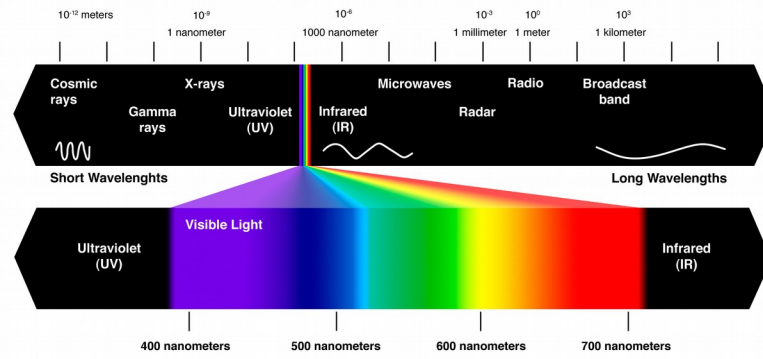
SmartFSI[®] pixel structure

See more
Widzieć więcej

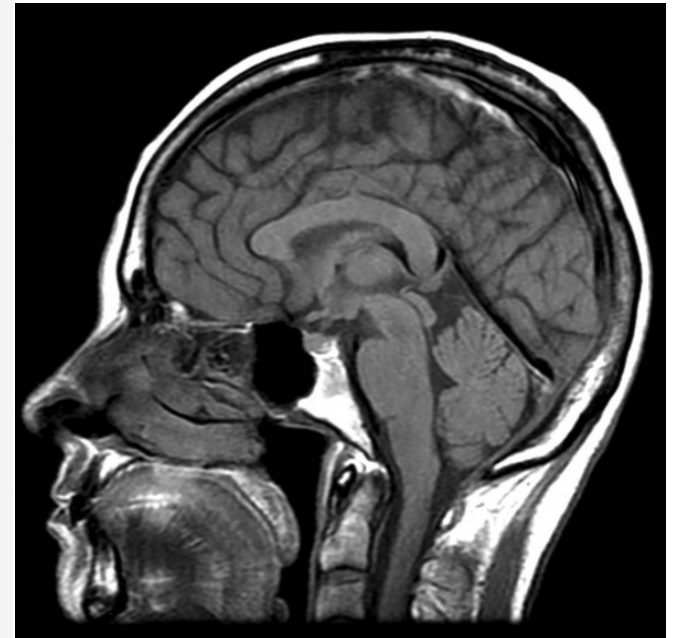


Obraz termograficzny stacji średniego napięcia

Instytut Elektroniki Politechniki Łódzkiej



Lu G, Fei B; Medical hyperspectral imaging: a review. J. Biomed. Opt.



<https://www.healthcare.siemens.pl/obrazowanie-mr/3t-mri-scanner/magnetom-skyra>

Quiz

1. Ile megapikseli ma ludzkie oko?
2. Ile kolorów mogą widzieć ustonogie?
3. Dlaczego są tylko trzy barwy podstawowe?
4. Czy telewizja może być mechaniczna?
5. Kiedy wprowadzono standard telewizji kolorowej?
6. Dlaczego do telewizji nie zakładało się marynarki w prążki?
7. Czy zdjęcia termowizyjne są kolorowe?

Wykorzystane materiały wideo

Youtube:

- Enliveeducation – Structure and working of Human Eye
- Elara Systems – ElaraAmazing 3D Eye Animation
- BuzzFeedYellow – How Animals See The World
- Zulkarnain Ng – Mantis Shrimp
- Thomas Eaton – Peacock Mantis Shrimp
- MITK12Videos – Newton's Prism Experiment
- Panasonic – SmartFSI(R) CMOS Image Sensor
- basalEDU – MdNuT 026 Nipkow, Baird, Zworykin und die Entwicklung des Fernsehens
- Tim Anderson – Full 3LCD Overview

- <http://www.fourier-series.com/IQMod/>