

# ЦОИ – цифровая обработка изображений

- Обработка изображений (Image processing)
- Анализ изображений (Image analysis)
- Компьютерное зрение (Computer vision)
- Фотограмметрия (Photogrammetry)
- Машинное зрение (Machine vision)
- Распознавание образов (Pattern recognition)

# ЦОИ – цифровая обработка изображений

1. Компьютерное зрение. Современный подход Computer Vision. A modern approach / Д. Форсайт, Ж. Понс ; [пер. с англ. А.В. Назаренко, И.Ю. Дорошенко] . - М. : Вильямс, 2004. - 926 с.

2. Методы компьютерной обработки изображений.:Учеб. пособие для вузов по направлению "Прикладная математика" / [М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова и др.]; Под ред. В.А. Сойфера. - 2-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2003. - 780 с..

3. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. под ред. П.А. Чочиа. - М. : Техносфера, 2005. - 1070 с.

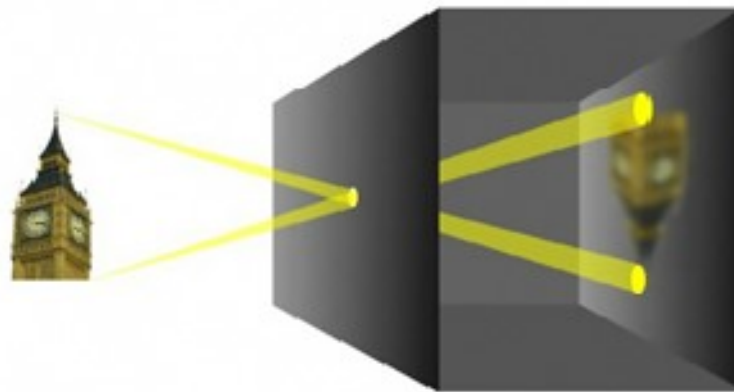
4. Цифровая обработка изображений / [Б. Яне](#). - М.: «Техносфера», 2007 . - 584 с

5. Learning OpenCV 3  
Computer Vision in C++ with the OpenCV Library  
By [Adrian Kaehler, Gary Bradski](#)  
Publisher: O'Reilly Media  
Release Date: September 2015  
Pages: 575

# Введение

Камера обскура – Аристотель, Да Винчи)

Темная комната с небольшим отверстием (0,5-5 мм – четкость (глубина резкости – бесконечна , и экраном на задней стенке (изображение перевернутое)



Первая фотография- Даггер (Франция, 1839 г.)

В качестве фотоматериала использовали посеребрённую медную пластинку.



портрет Авраама Линкольна, 1864

Первые цветные фотографии

Сергей Прокудин-Горский (1863-1944)

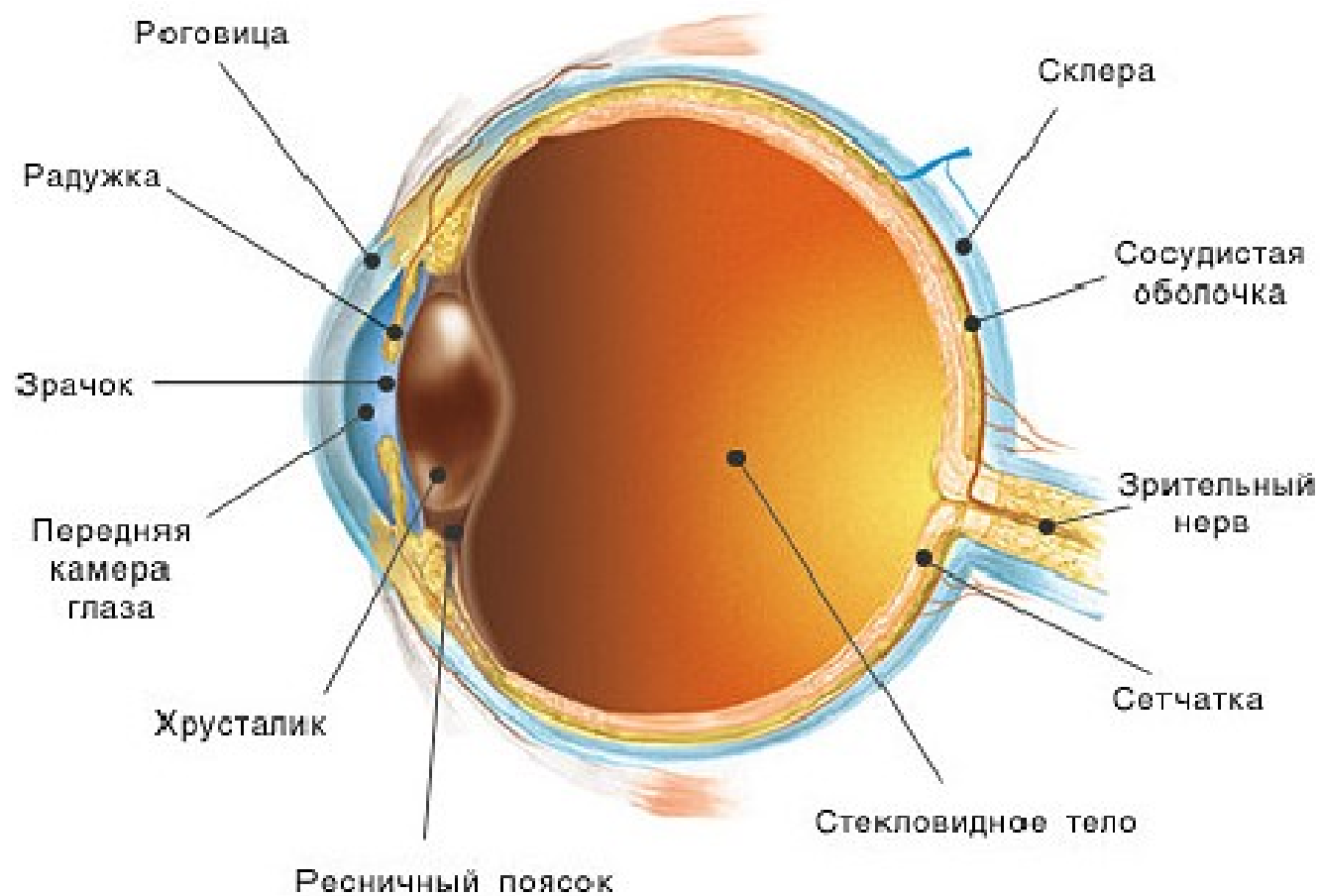
Фотографии Российской империи(1909-1916)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Sergei\\_Mikhailovich\\_Prokudin-Gorskii](http://en.wikipedia.org/wiki/Sergei_Mikhailovich_Prokudin-Gorskii)



Получение трех-канального изображения со светофильтрами.  
(Три фотоаппарата + три проектора)

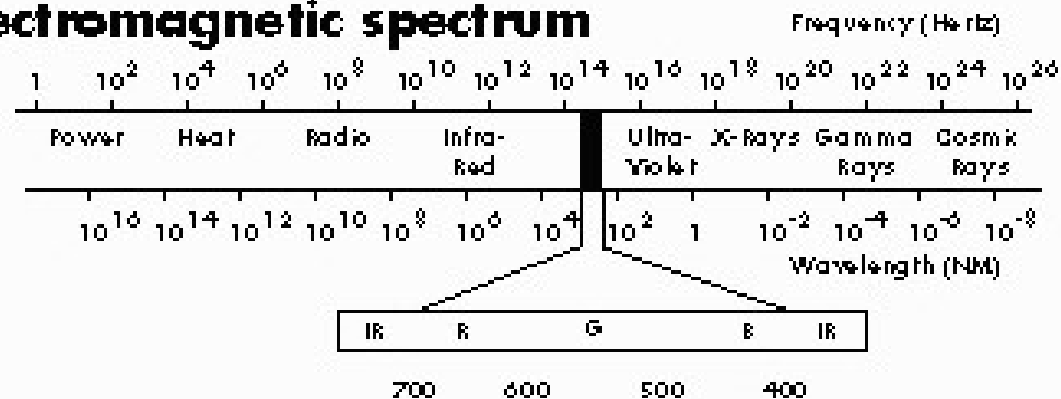
## Устройство человеческого глаза



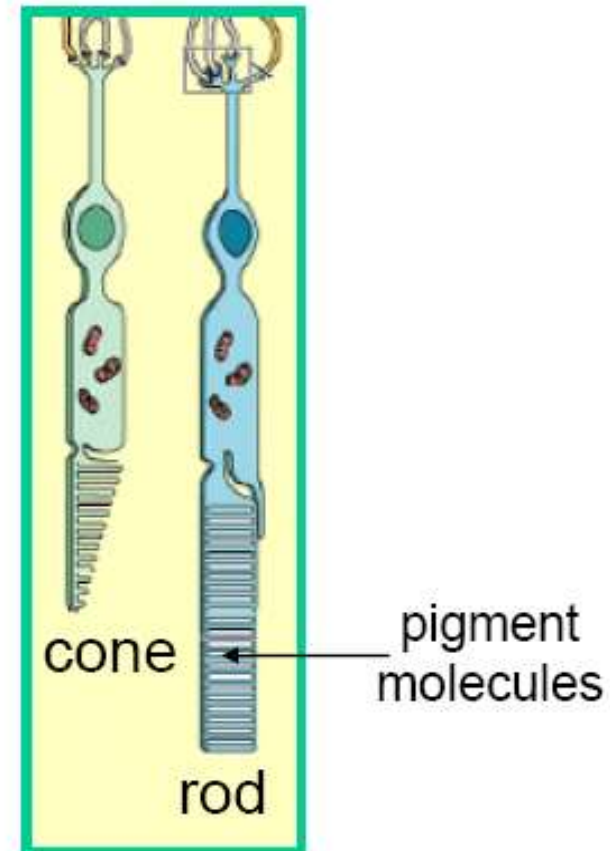
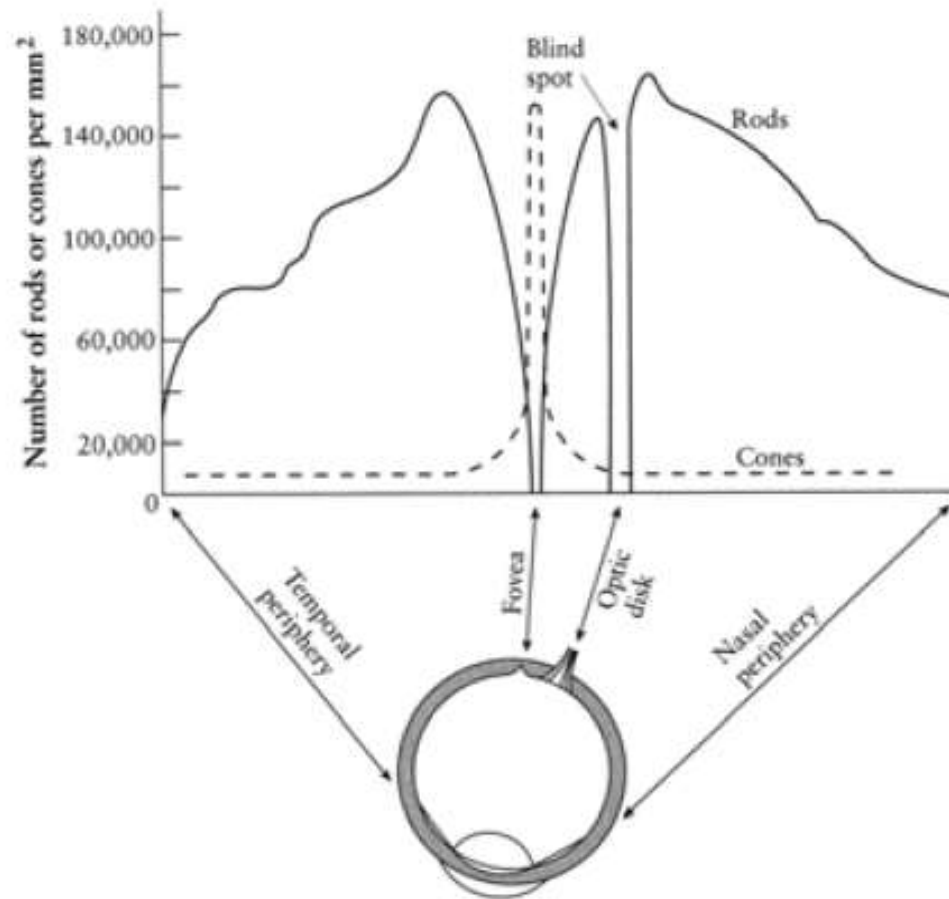


## Spectrum

### The electromagnetic spectrum



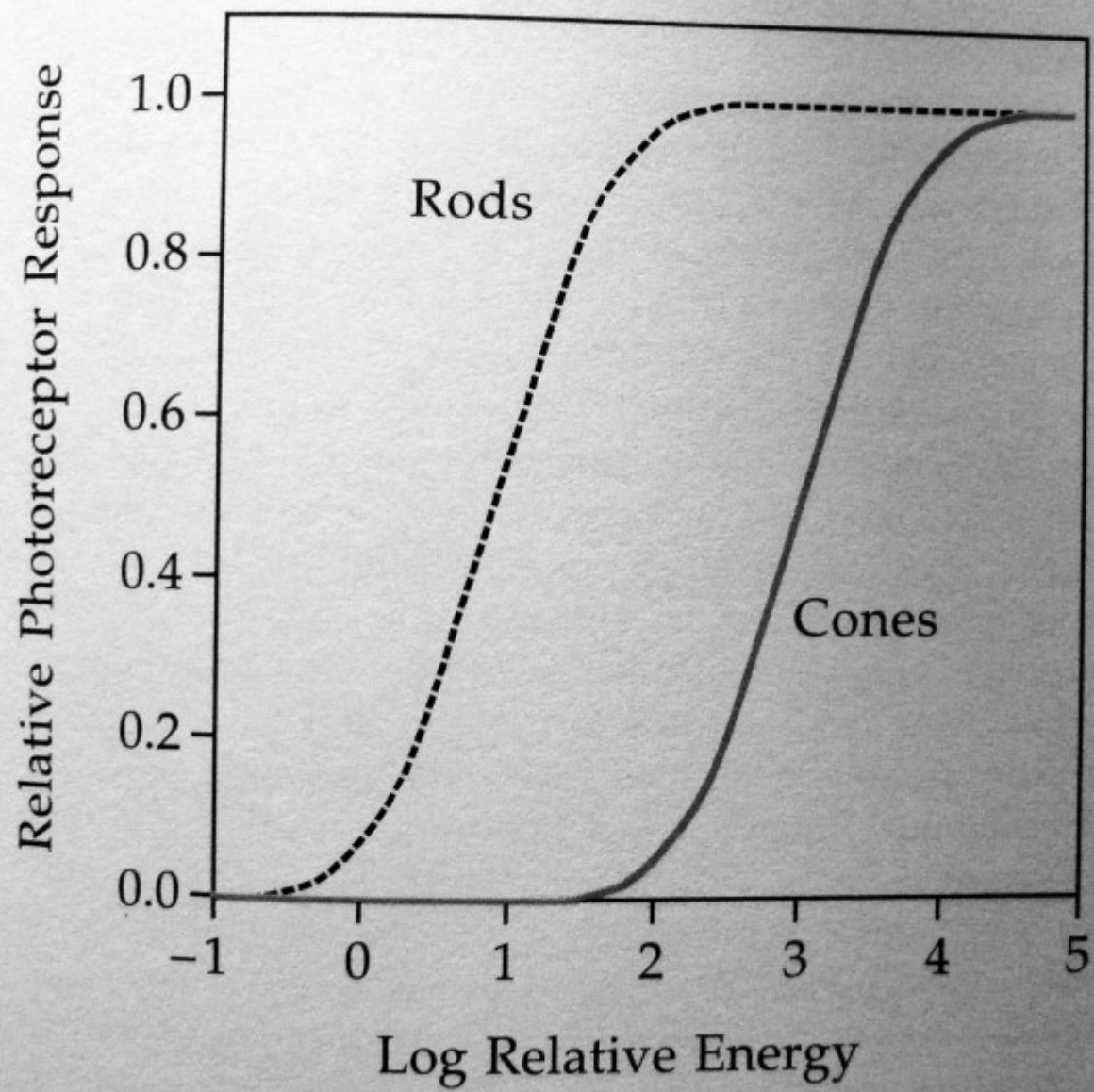
# Плотность палочек и колбочек

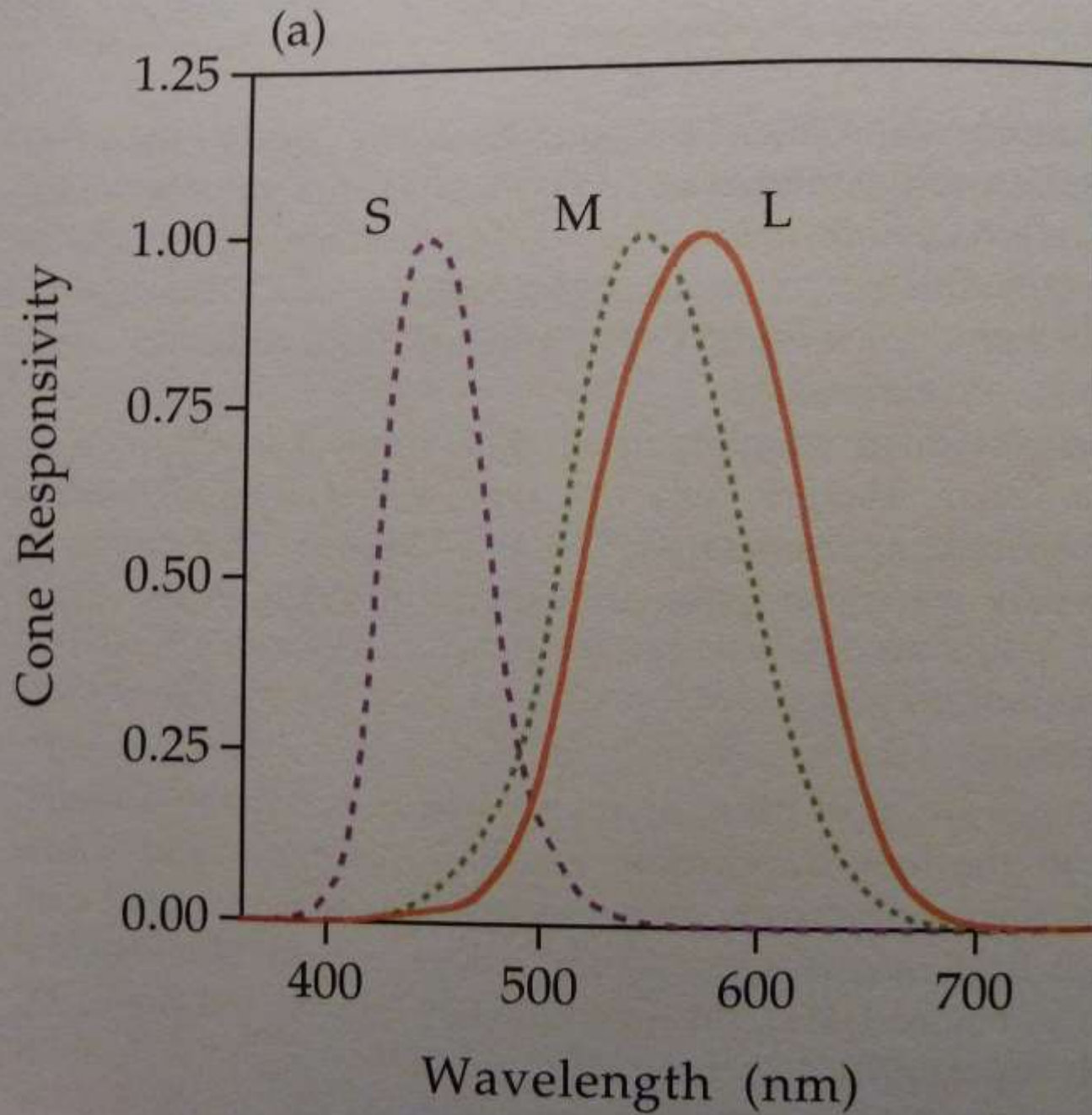


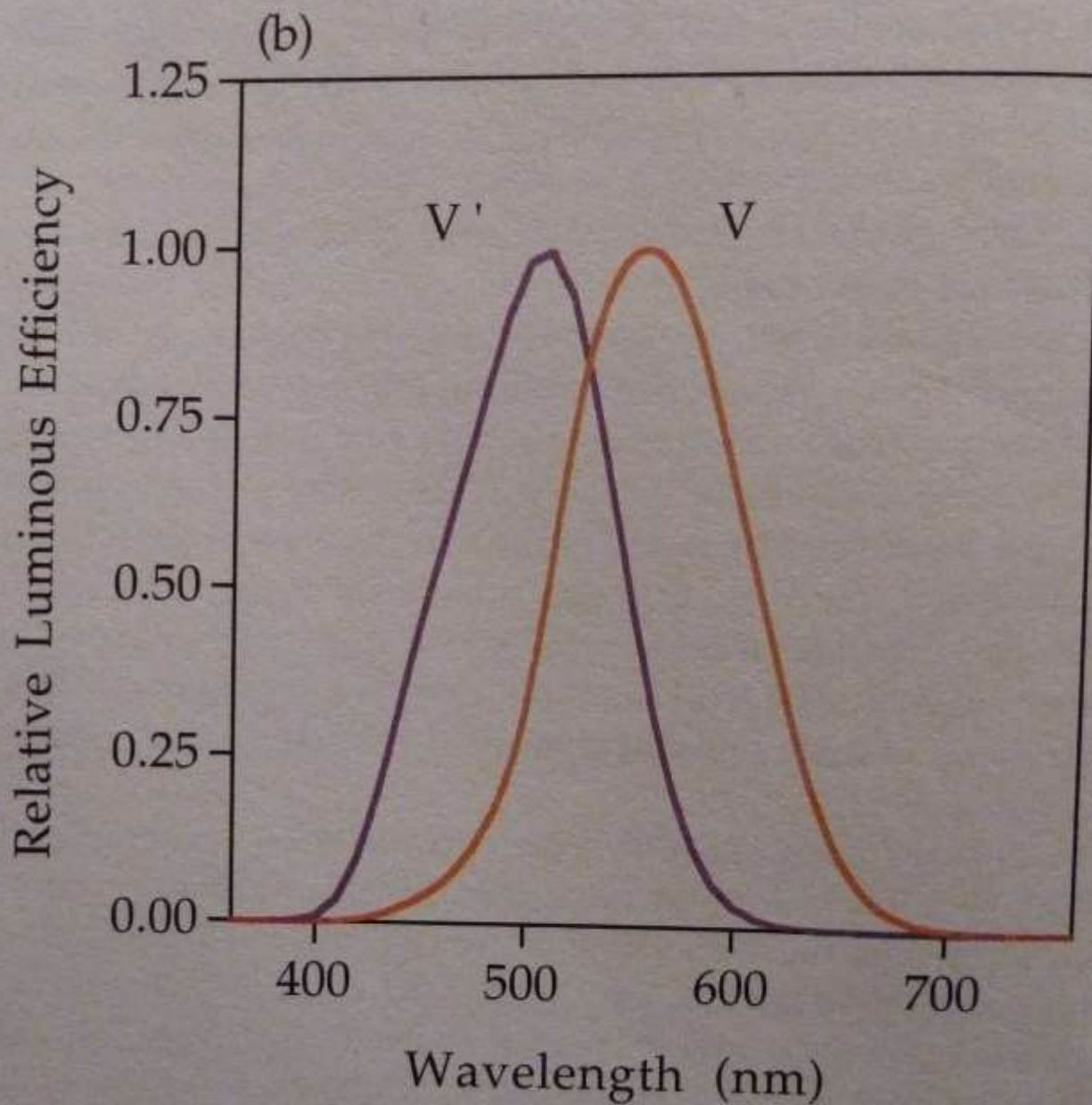
## Палочки и колбочки распределены неравномерно

- Палочки измеряют яркость, колбочки цвет
- **Fovea** – маленькая область (1 or 2°) в центре визуального поля с наибольшей плотностью колбочек и без палочек
- На периферии все больше палочек подсоединены к одному нейрону

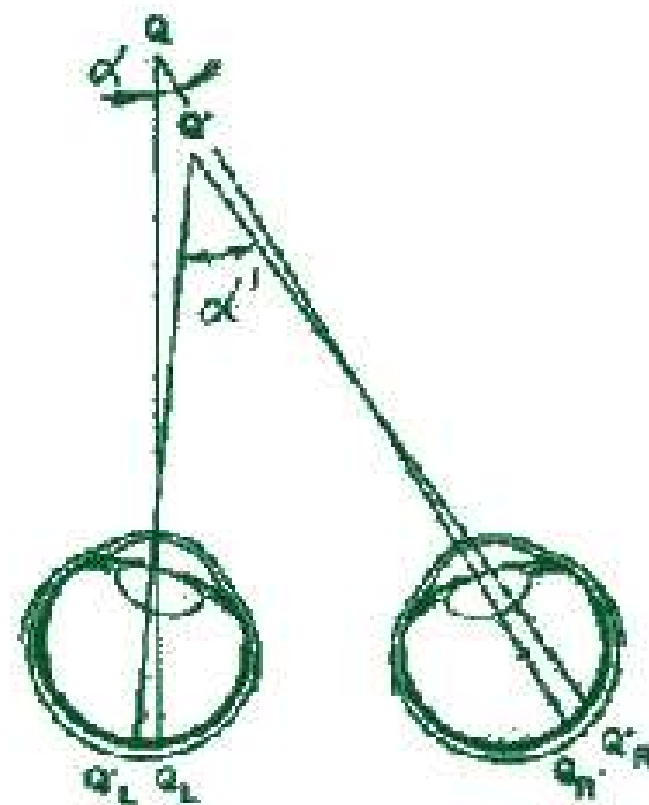
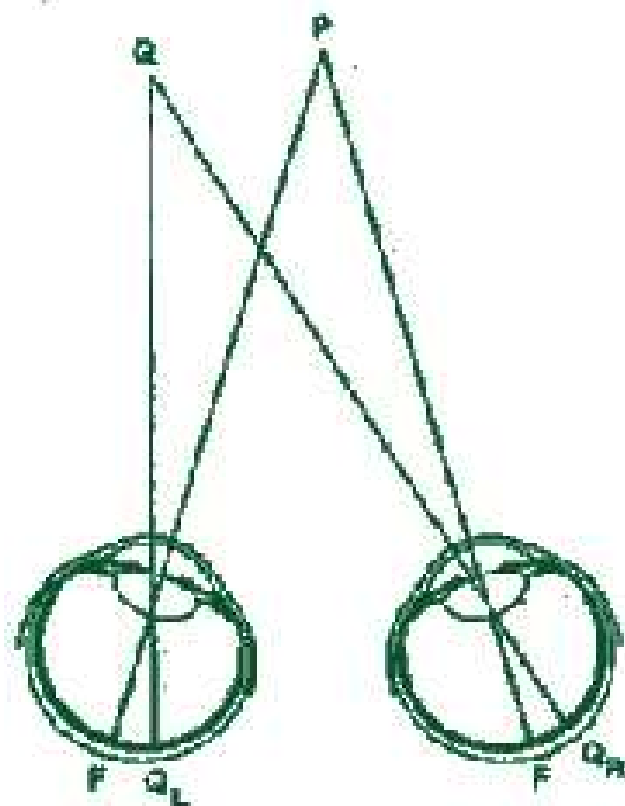


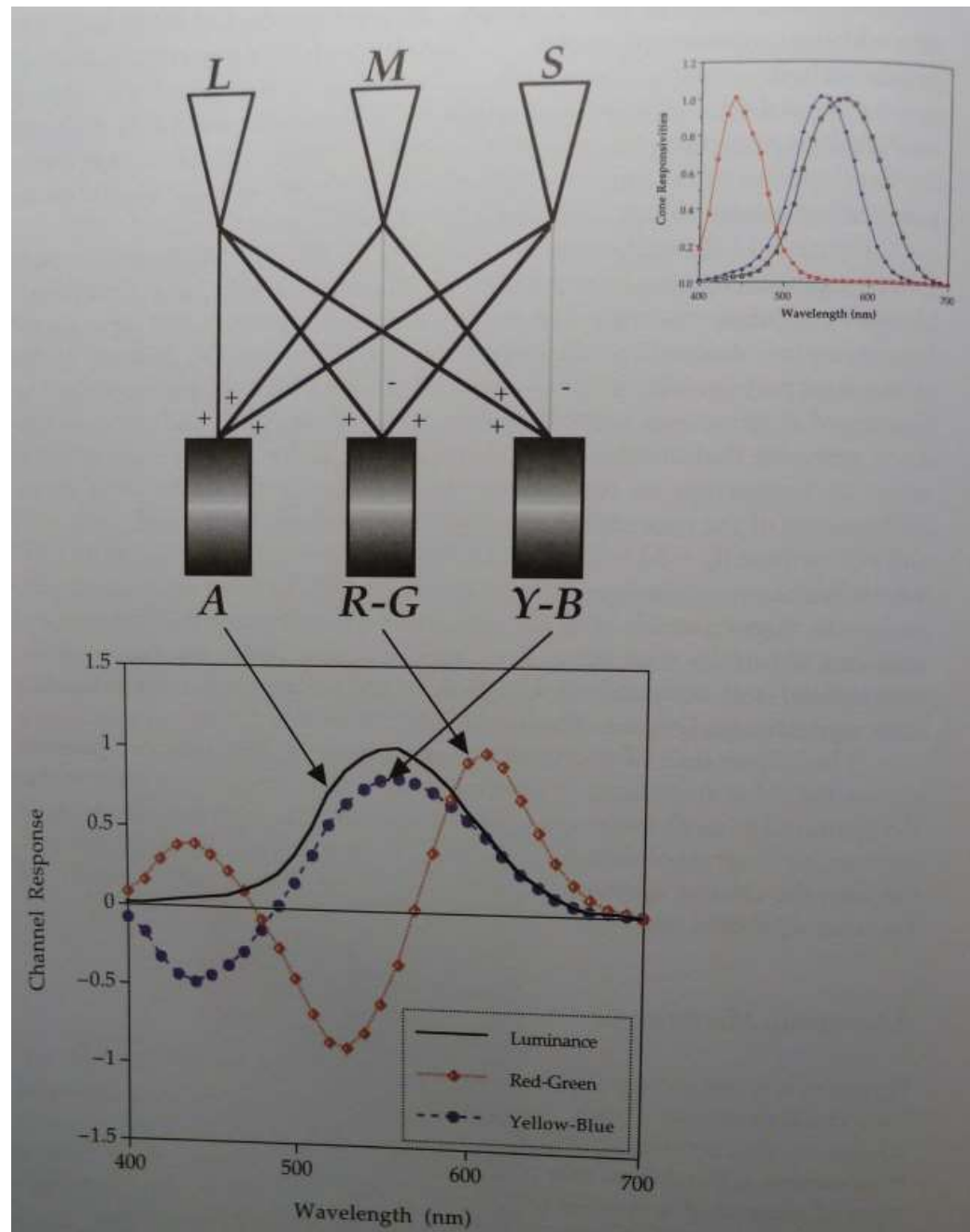


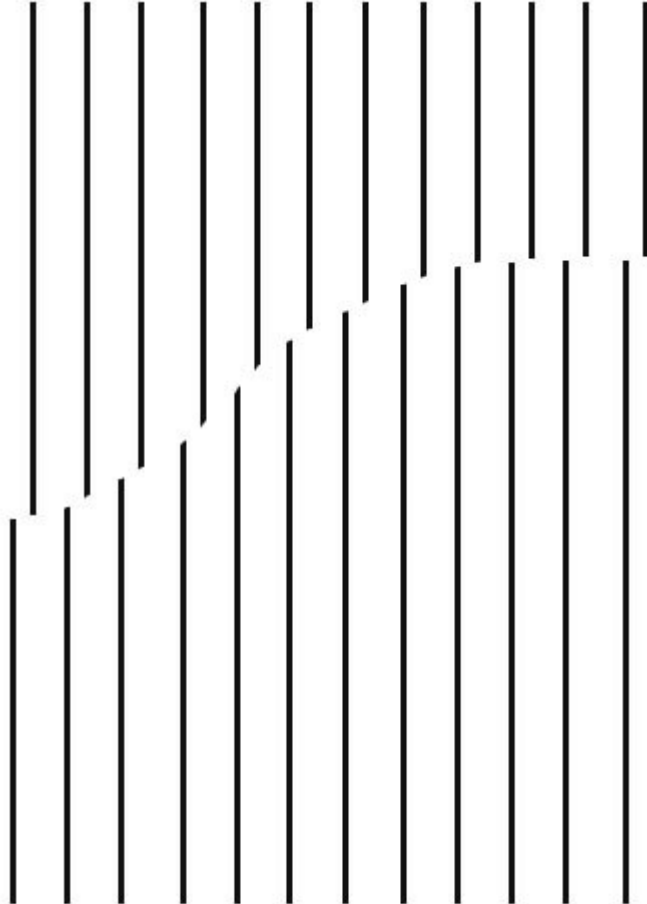
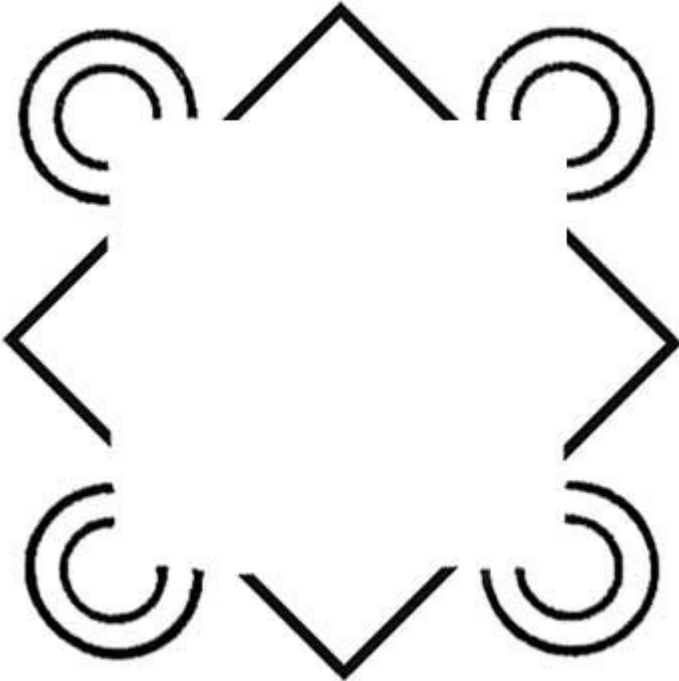




**Figure 1-4.** (a) Spectral responsivities of the L, M, and S cones and (b) the CIE spectral luminous efficiency functions for scotopic,  $V'(\lambda)$ , and photopic,  $V(\lambda)$ , vision.

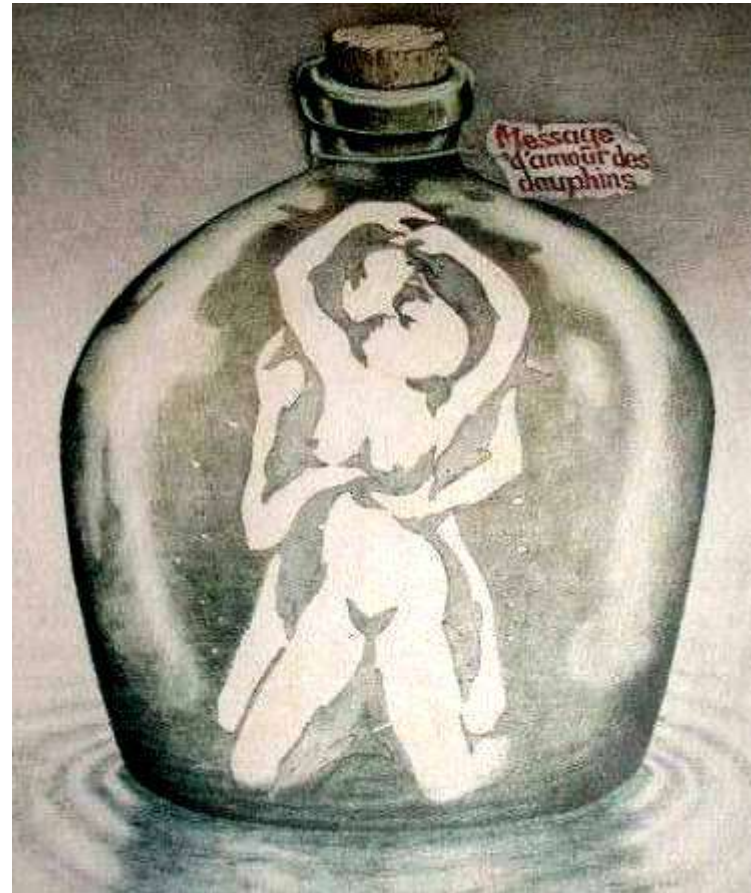




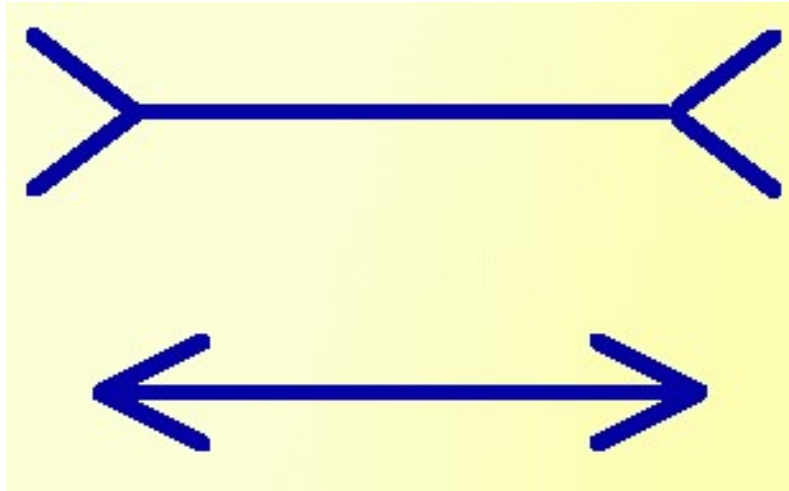
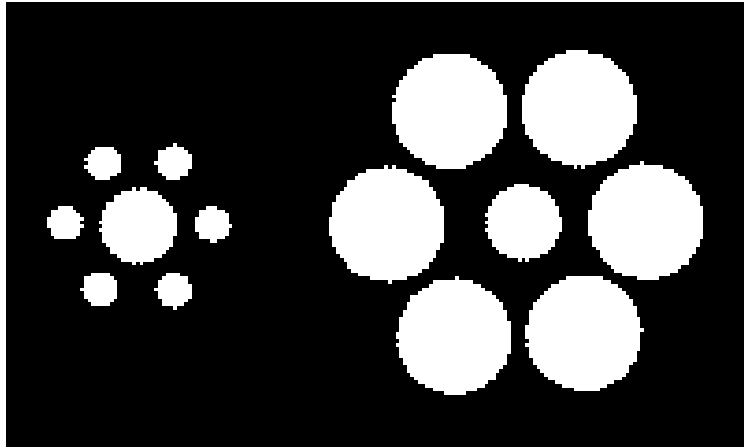






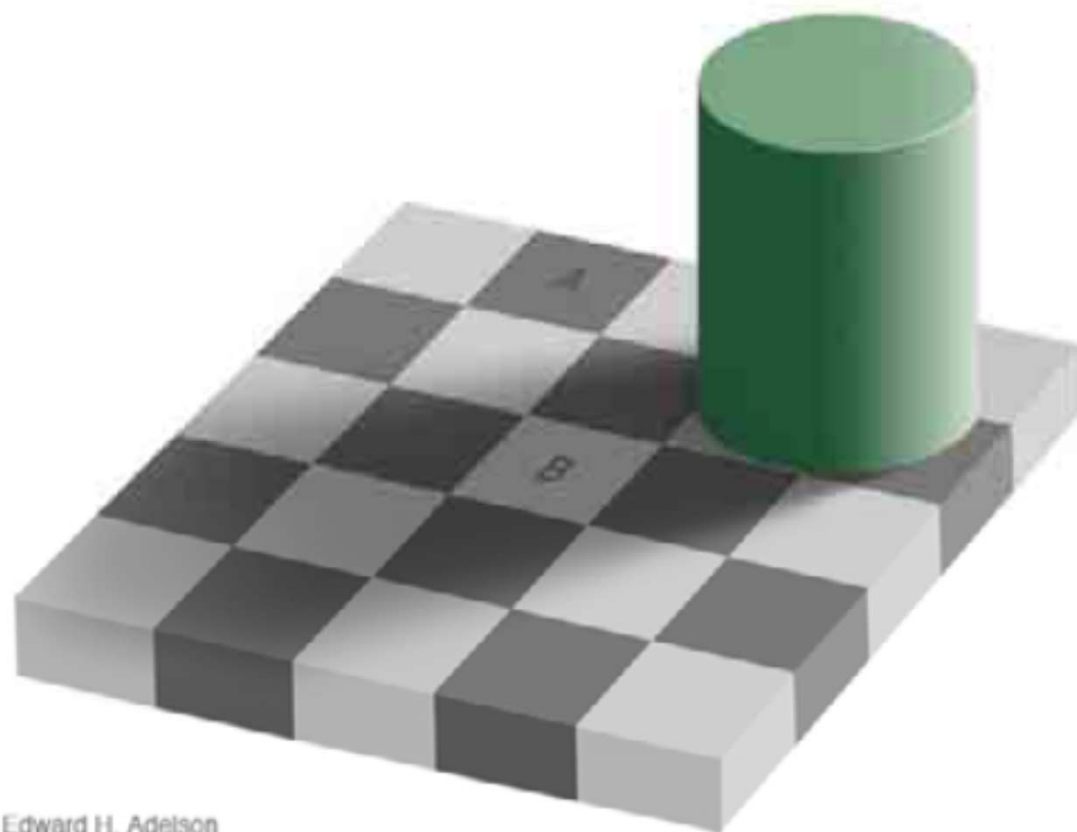






# Постоянство яркости

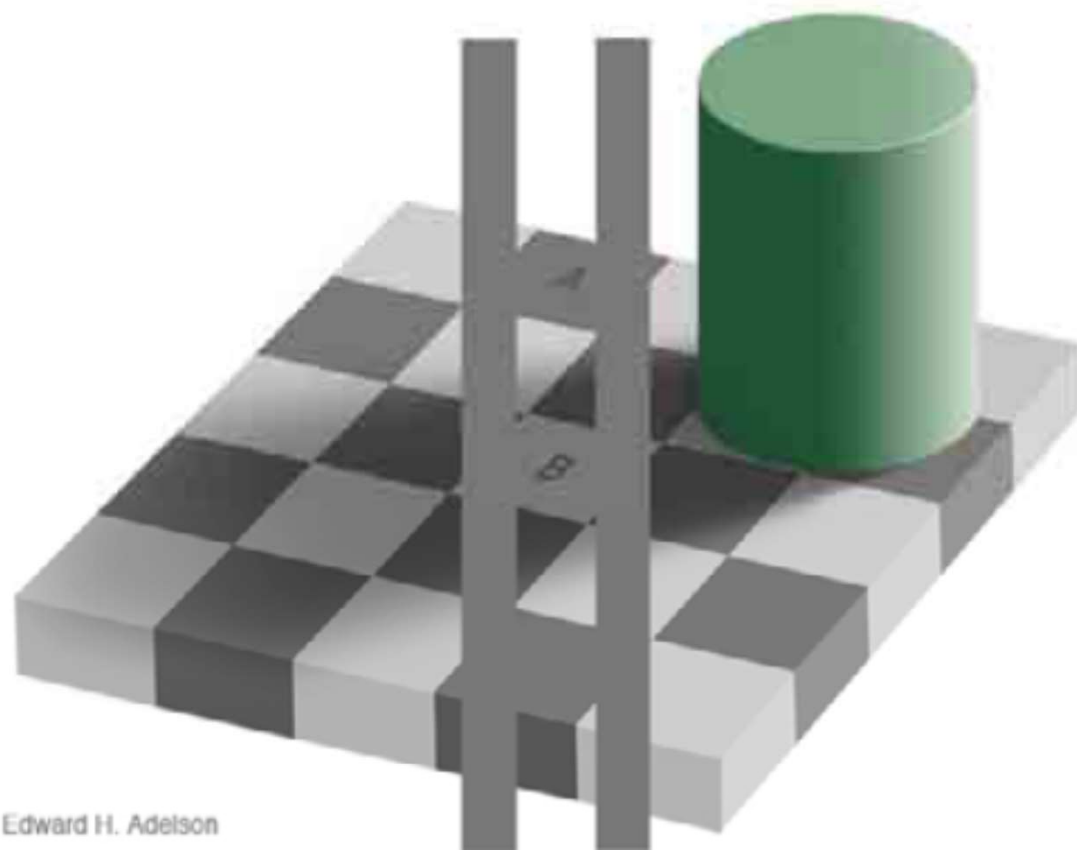
---



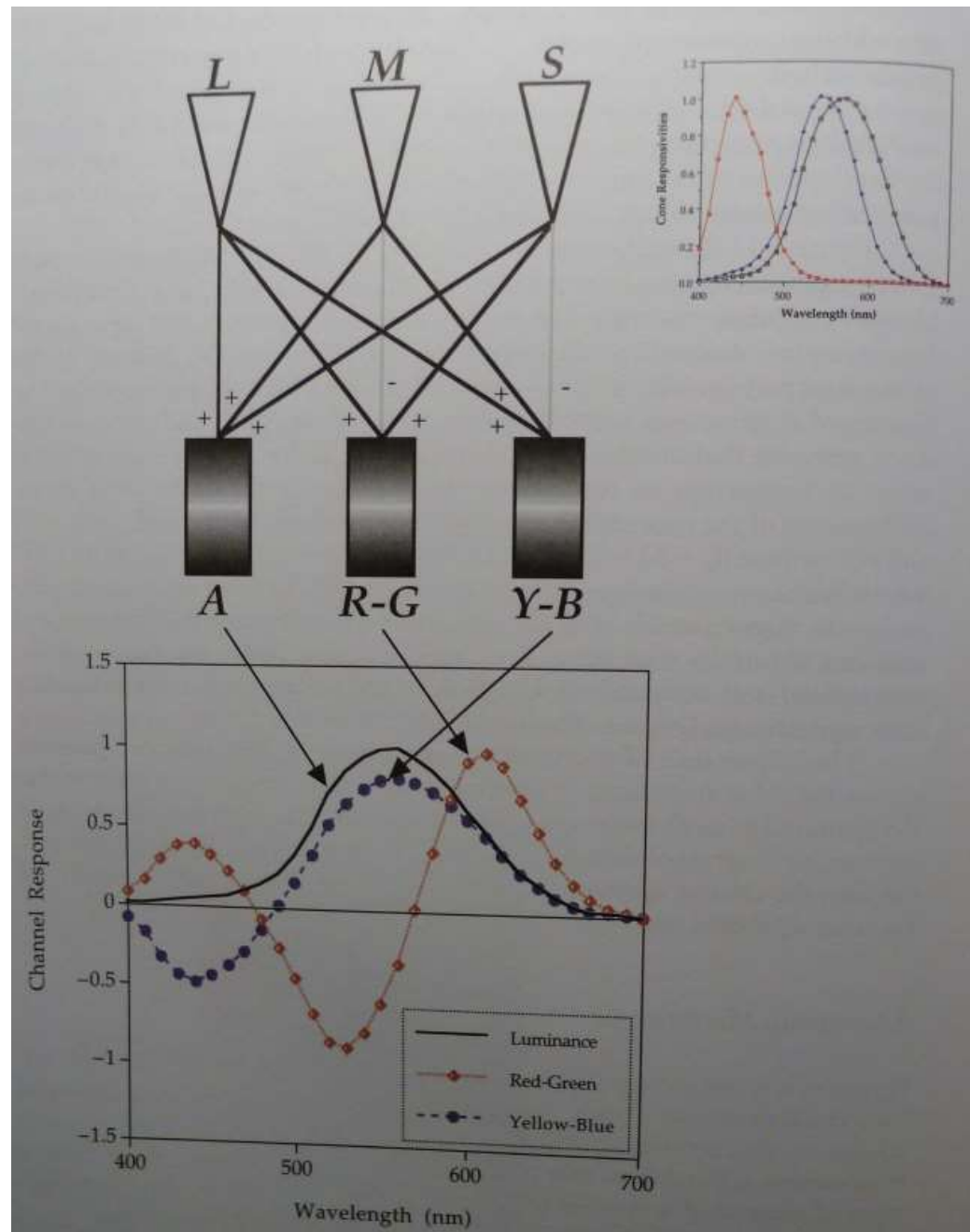
Edward H. Adelson

# Постоянство яркости

---

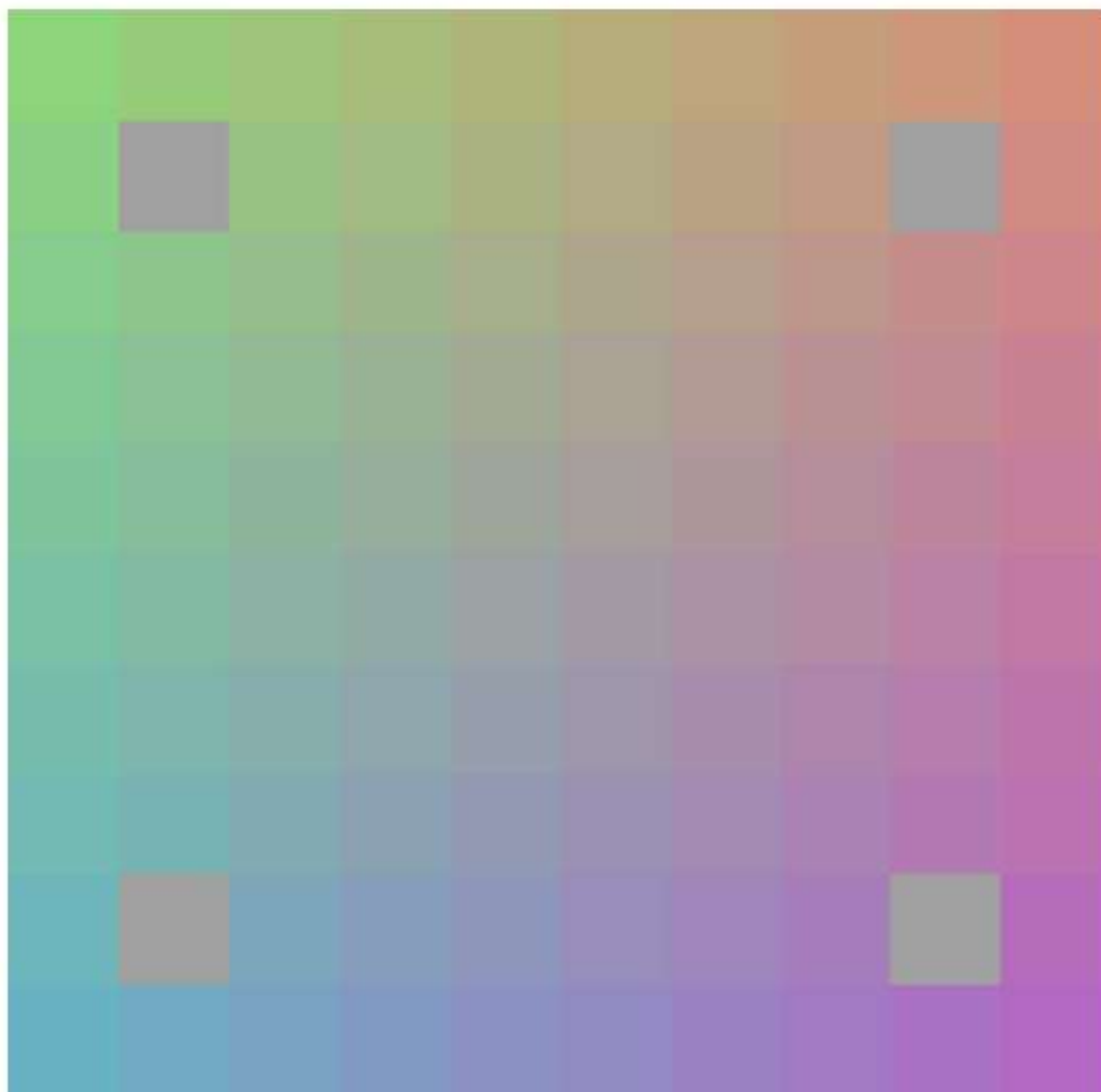


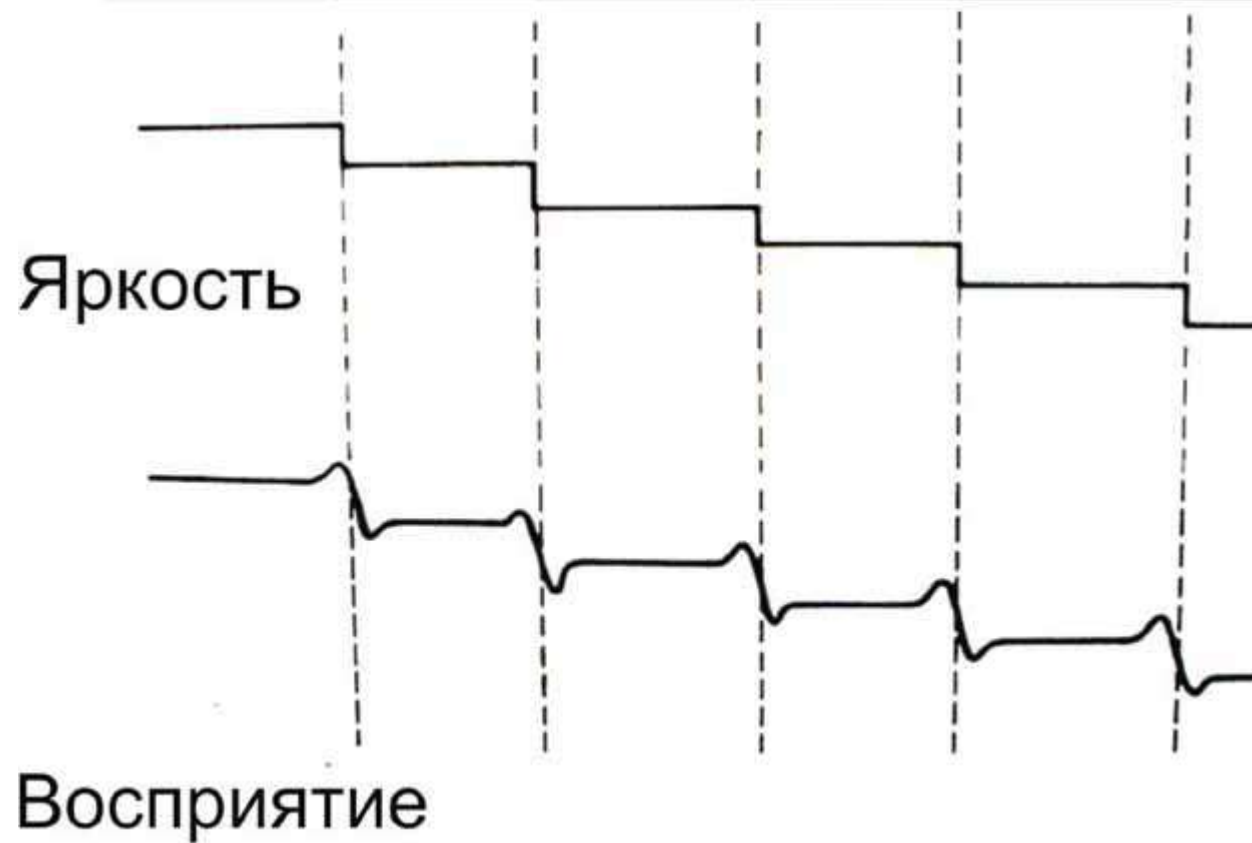
Edward H. Adelson



# Полосы Маха

---





# Хроматическая адаптация

---

Чувствительность зрительной системы  
меняется в зависимости от доминантной  
освещенности наблюдаемой сцены

- Механизм плохо изучен

Адаптация к разным уровням освещенности

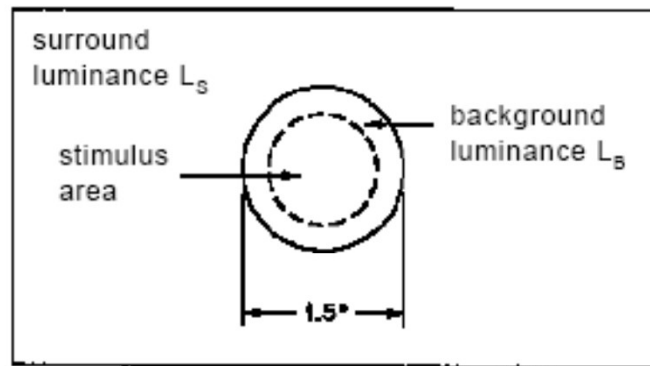
- Размер зрачка регулирует объем света, попадающий на сетчатку
- Размер резко меняется при входе в здание с ярко освещенной солнцем улицы

Цветовая адаптация

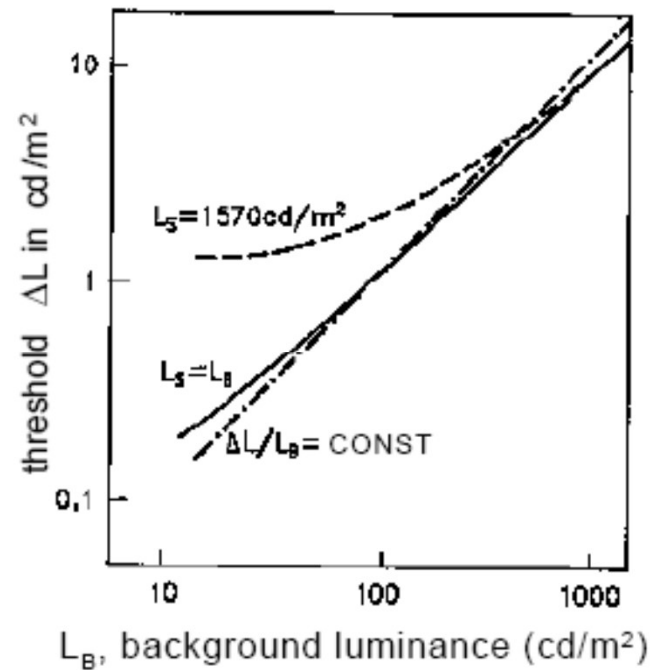
- Клетки сетчатки меняю свою чувствительность
- Пример: если доля красного в освещении повышается, понижается чувствительность клеток, отвечающий за красный, пока вид сцены не придет к норме
- Мы лучше адаптируемся при яркой освещенности, при освещении свечой все остается в желтых тонах

# Weber-Fechner law, I

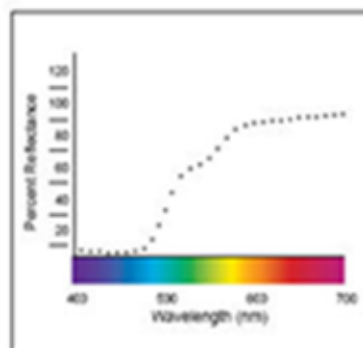
## ■ Experiment:



## ■ Result:

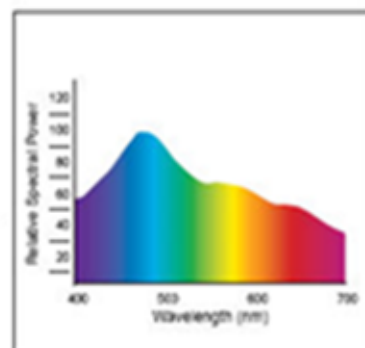






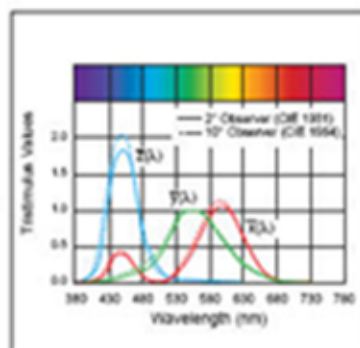
Spectral Curve

X



D65 Illuminant

X



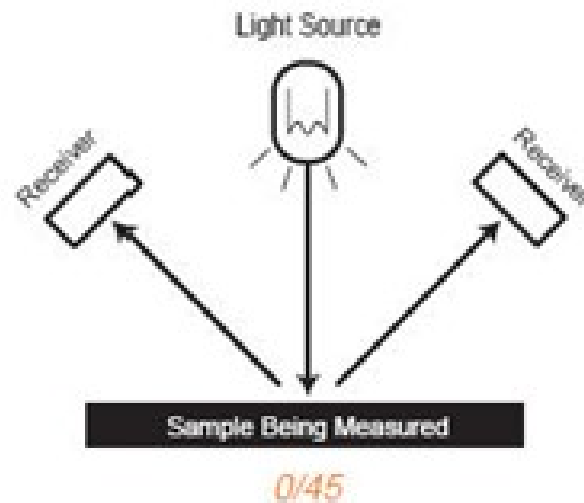
Standard Observer

=

$$\begin{aligned} X &= 62.04 \\ Y &= 69.72 \\ Z &= 7.34 \end{aligned}$$

Tristimulus Values

CIE – модель наблюдателя (2 и 10 градусов), модель источника освещения A,B,C ... D50, D65 – стандартизированы.

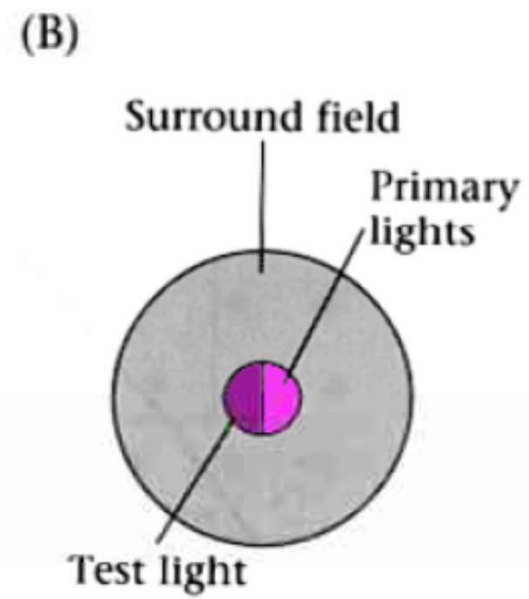
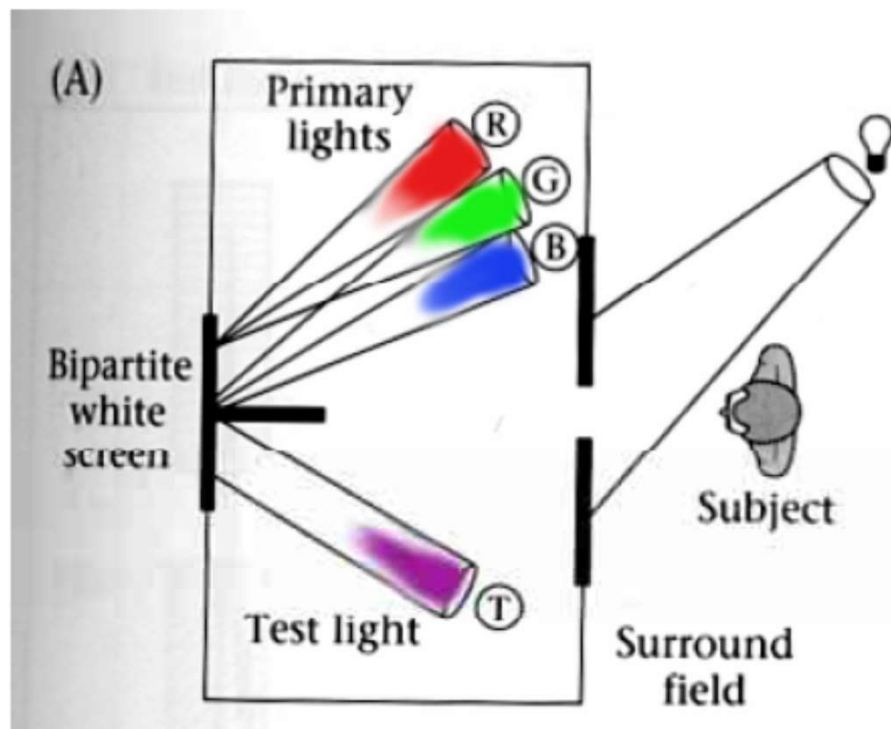


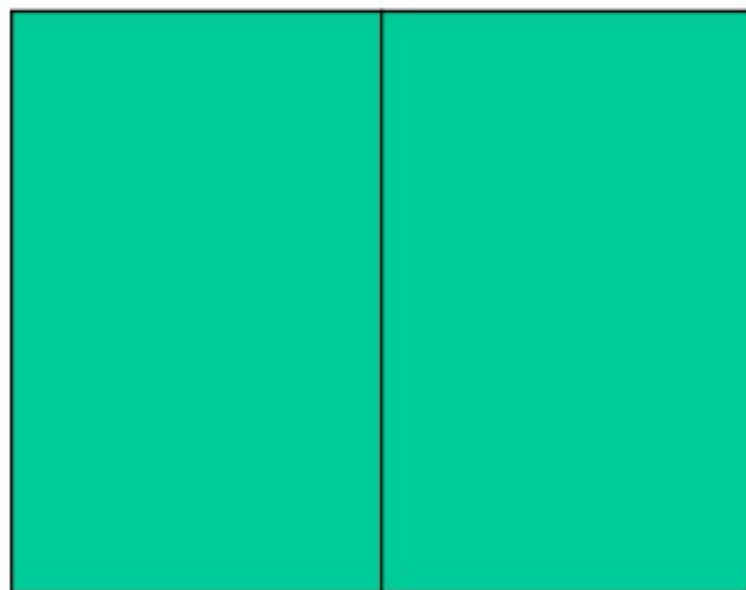
A- типичная лампа накаливания

B- прямой солнечный свет

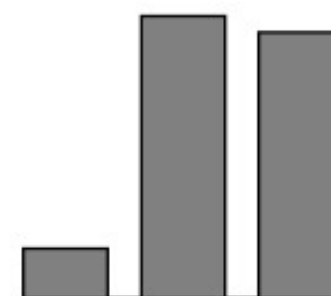
D65- средний свет с коррелированной цветовой температурой (correlated color temperature (CCT)-6504 K). И т.д.

E – источник с равномерным распределением энергии по спектру (физически не существует).





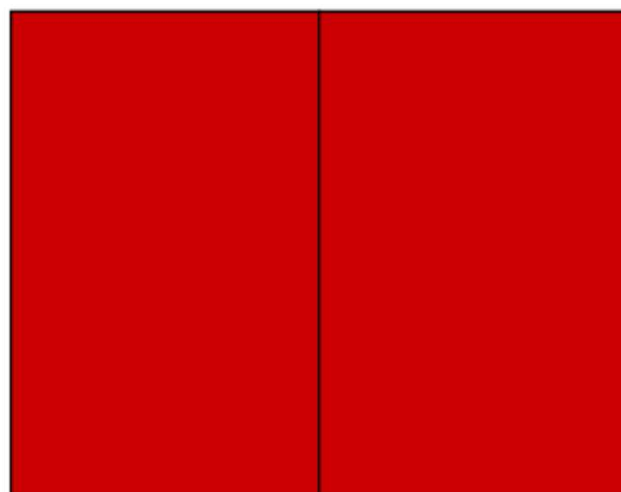
Основные цвета,  
необходимые для  
сопоставления



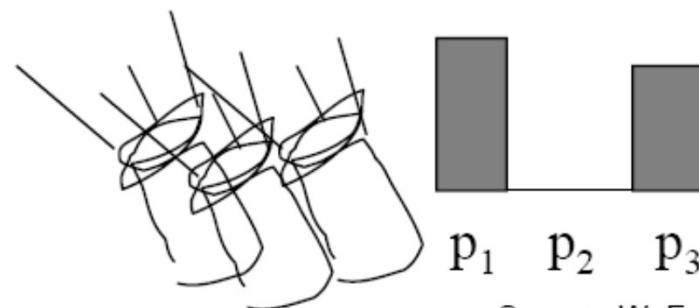
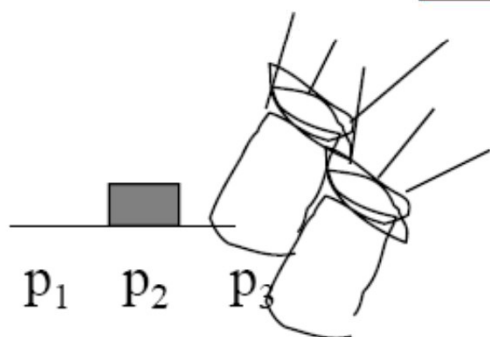
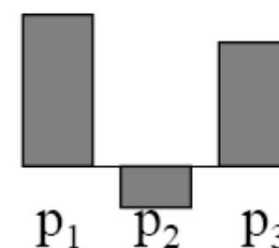
$p_1$   $p_2$   $p_3$

Source: W. Freeman

Мы называем  $m$  «отрицательным» весом основного цвета, если цвет нужно добавлять к сопоставляемому свету.



Веса основных цветов, необходимых для сопоставления:



Source: W. Freeman

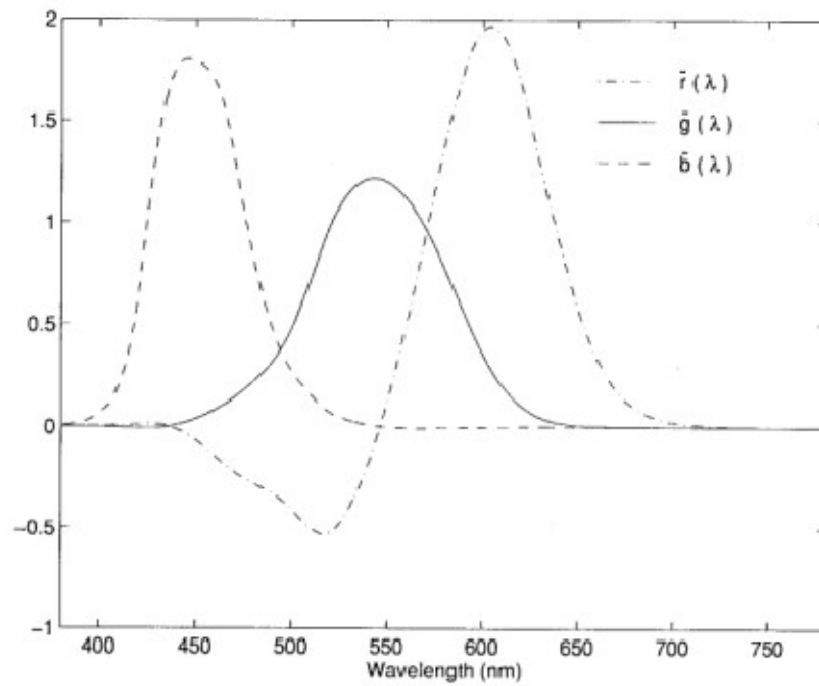


Fig. 3. CIE  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$  color-matching functions.

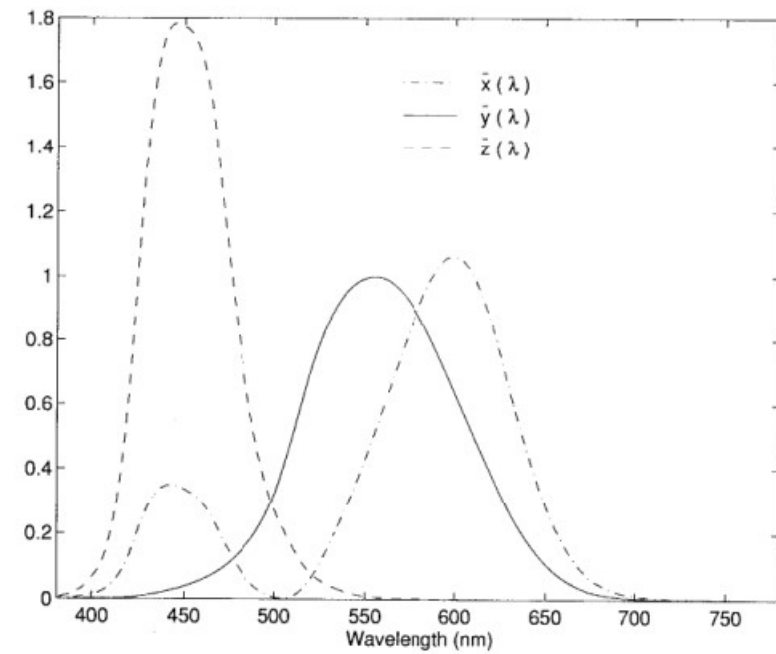
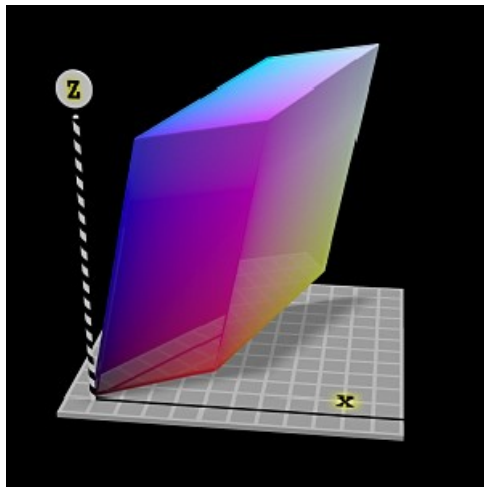


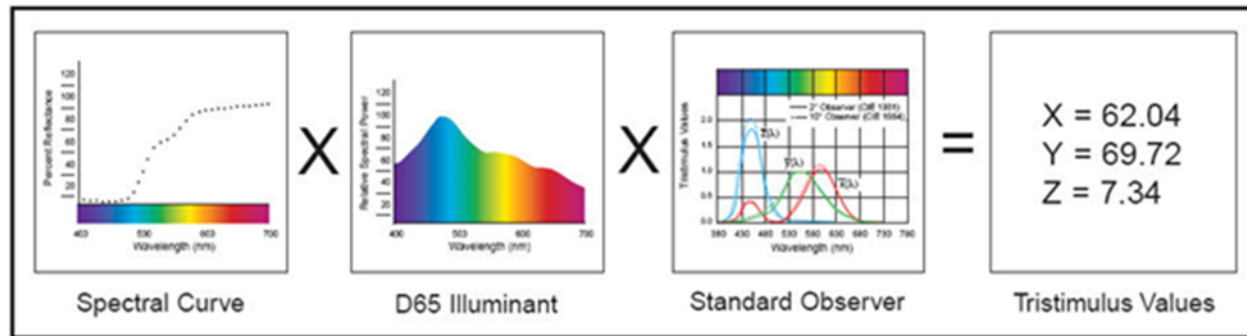
Fig. 4. CIE  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  color matching functions.



$$X = \int_{\lambda} \bar{x}(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{\lambda} \bar{y}(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$

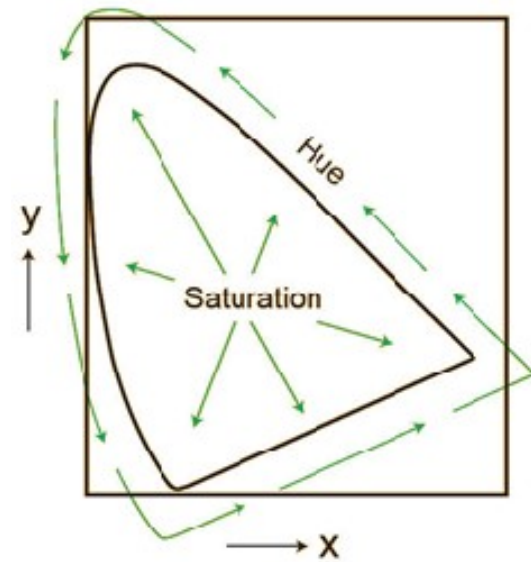
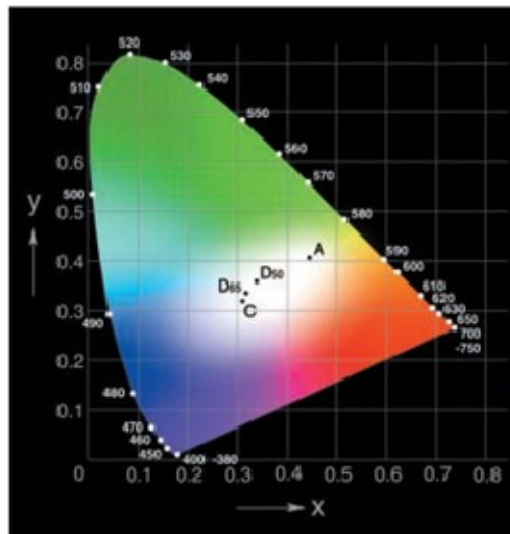
$$Z = \int_{\lambda} \bar{z}(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$



$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$



$$\begin{bmatrix} R_{dw} \\ G_{dw} \\ B_{dw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8951 & 0,2664 & -0,1614 \\ -0,7502 & 1,7135 & 0,0367 \\ 0,0389 & -0,0685 & 1,0296 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} X_{dw} \\ Y_{dw} \\ Z_{dw} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} R_{zw} \\ G_{zw} \\ B_{zw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8951 & 0,2664 & -0,1614 \\ -0,7502 & 1,7135 & 0,0367 \\ 0,0389 & -0,0685 & 1,0296 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} X_{zw} \\ Y_{zw} \\ Z_{zw} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} Bradford \\ 3 \times 3 \\ matrix \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,9870 & -0,1471 & 0,1600 \\ 0,4323 & 0,5184 & 0,0493 \\ -0,0085 & 0,0400 & 0,9685 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} R_{dw} / R_{zw} & 0 & 0 \\ 0 & G_{dw} / G_{zw} & 0 \\ 0 & 0 & B_{dw} / B_{zw} \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} 0,8951 & 0,2664 & -0,1614 \\ -0,7502 & 1,7135 & 0,0367 \\ 0,0389 & -0,0685 & 1,0296 \end{bmatrix}$$



$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad \text{if } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

$$L^* = 903.3 \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \quad \text{if } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856$$

$$a^* = 500 \left( f \left( \frac{X}{X_n} \right) - f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \right)$$

$$b^* = 200 \left( f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) - f \left( \frac{Z}{Z_n} \right) \right)$$

где,  $f \left( \frac{N}{N_n} \right)$  определяется следующим образом: если  $f \left( \frac{N}{N_n} \right) > 0.008856, N \in [X, Y, Z]$ , то

$$f \left( \frac{N}{N_n} \right) = \left( \frac{N}{N_n} \right)^{1/3} \quad \text{иначе} \quad f \left( \frac{N}{N_n} \right) = 7.787 \left( \frac{N}{N_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$X_n, Y_n, Z_n$  - опорная белая точка (обычно стандартный источник света).

Так же определено расстояние в этом пространстве:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^* + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.595716 & -0.274453 & -0.321263 \\ 0.211456 & -0.522591 & 0.311135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$R, G, B, Y \in [0, 1]$$

$$Q \in [-0.522591, 0.522591]$$

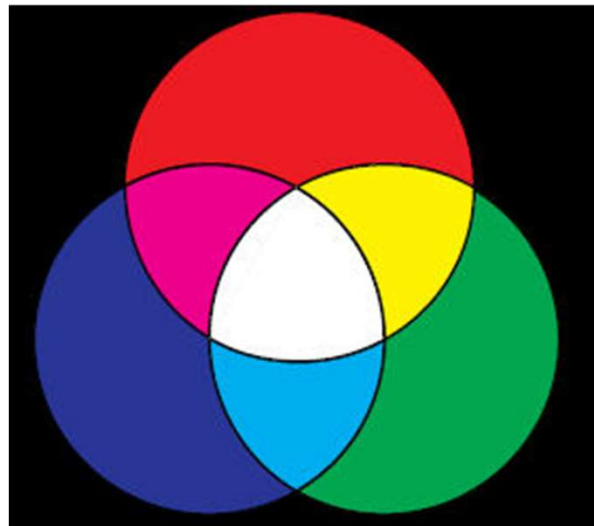
$$I \in [-0.595716, 0.595716]$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956295719758948 & 0.621024416465261 \\ 1 & -0.272122099318510 & -0.647380596825695 \\ 1 & -1.106989016736491 & +1.704614998364648 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R & G & B \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y & I & Q \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

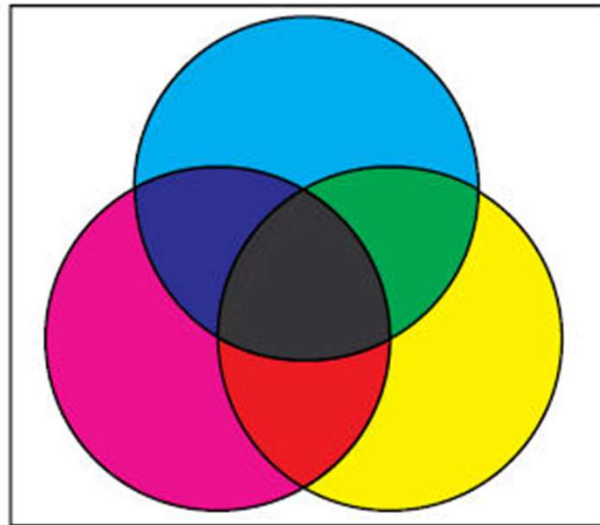
Исходя из трехмерной структуры цвета можно построить аддитивную и субтрактивную модели. В аддитивной модели есть три примитива – R,G,B и все остальные цвета получаются путем смешивания (сложения) трех основных. Эта модель используется в CRT дисплеях, телевизорах, сканерах и т.д.



**Рис 8. Аддитивная модель (RGB).**

Например, желтый цвет в этой модели получается как 100% Red +100% Green,  
Magenta=100%Red+100%Blue,  
Cyan=100%Green+100% Blue  
Black=0% Red +0% Green +0% Blue

В противоположность этому можно построить и субстрактивную цветовую модель, где примитивы вычитаются друг из друга, в такой модели тоже три примитива - Cyan, Magenta, Yellow



**Рис 9. Субстрактивная модель (СМУ).**

В этой модели

Blue = 100%Cyan+100%Magenta

Green=100%Cyan+100%Yellow

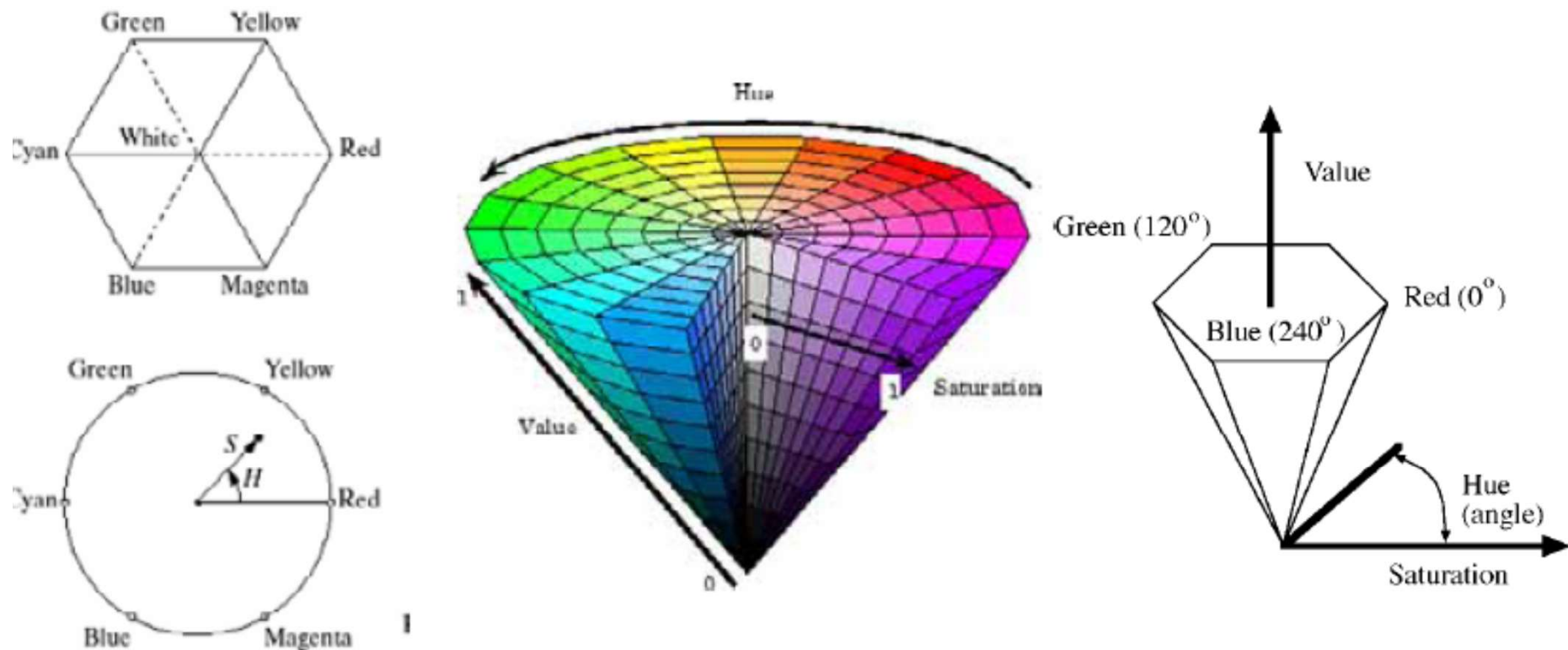
Red=100% Yellow +100%Magenta

White=0% Cyan +0% Magenta +0% Yellow

Black=100% Cyan +100% Magenta +100% Yellow

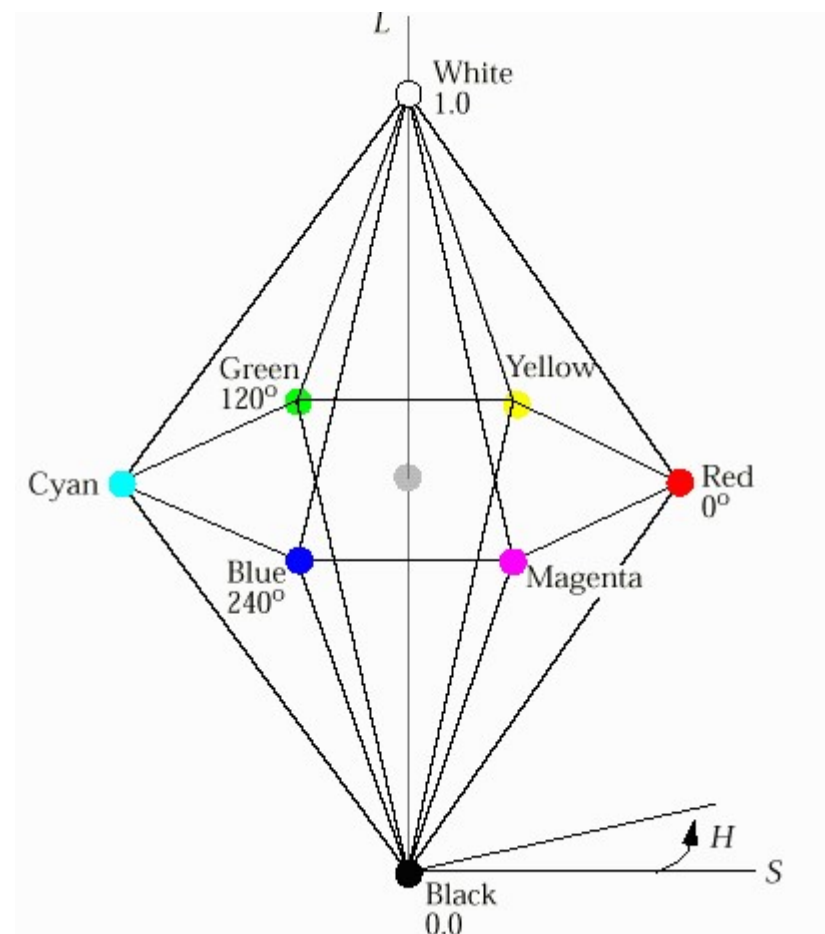
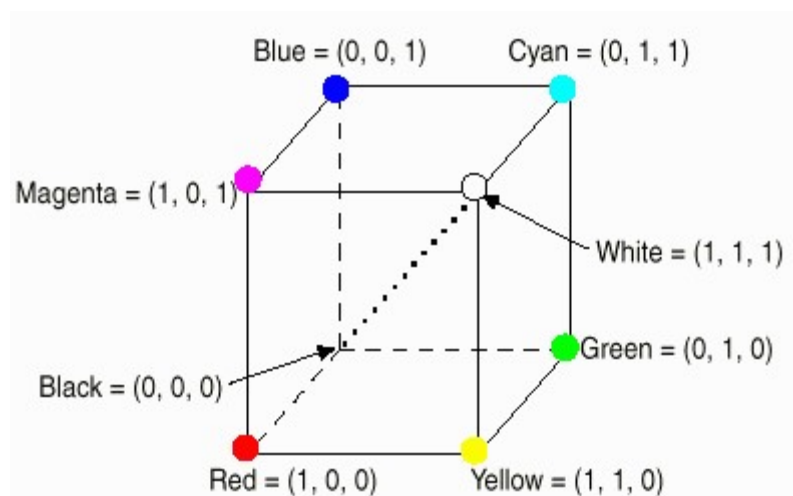
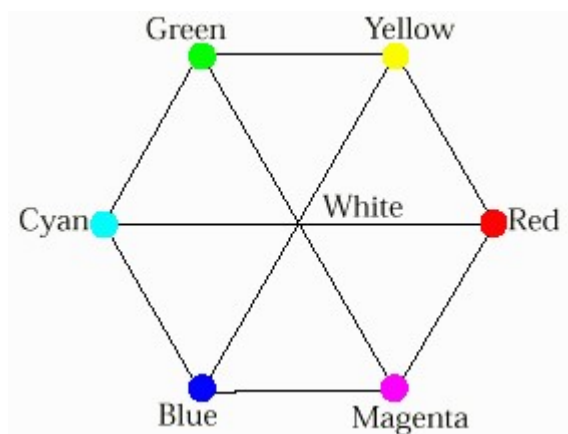
Такую цветовую модель используют, в основном, печатающие устройства.

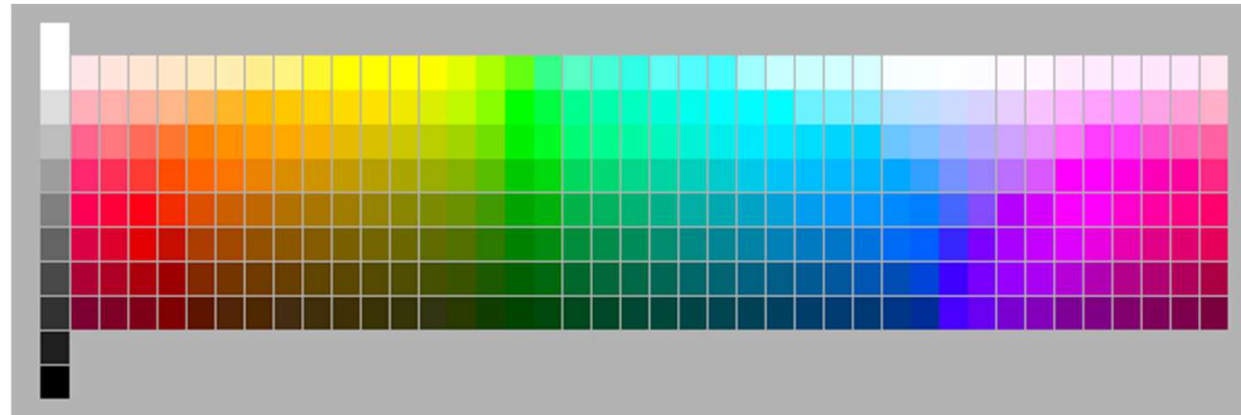
# Нелинейные цветовые модели: HSV



Координаты выбраны с учетом человеческого восприятия:  
Hue (Тон), Saturation(Насыщенность),  
Value (Intensity) (Интенсивность)

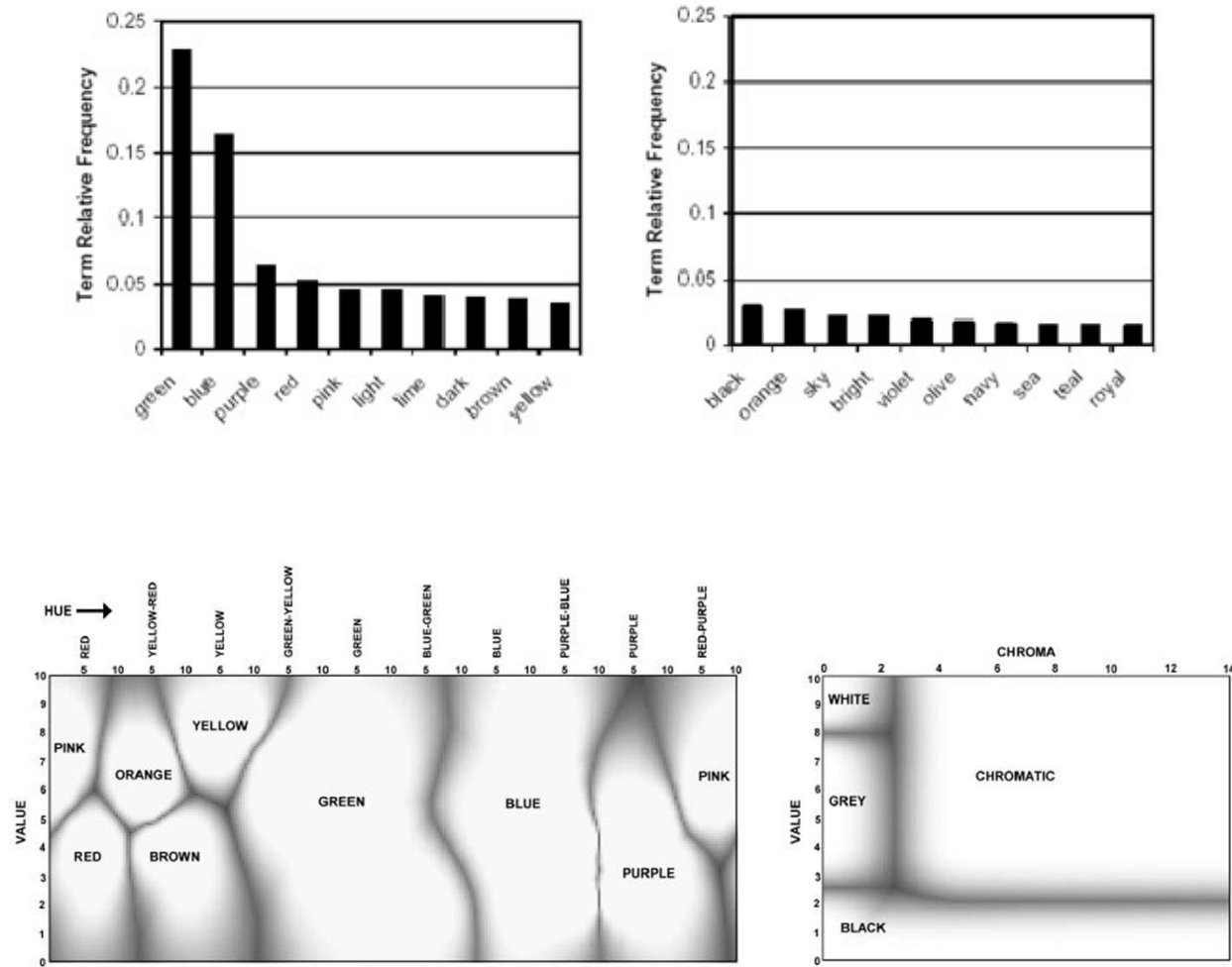
Модель HSV удобна для задания цвета.





***Figure 1.*** Recreation of the Berlin and Kay stimulus chart made by Lammens (1994).





**Figure 4.** Maximum membership at all points in Munsell color space.



[illegible][illegible]

В Postscript Level 2 Reference Manual преобразование RGB->CMYK и CMYK->RGB описано как

**Преобразование RGB->CMYK**

$$c = 1 - R$$

$$m = 1 - G$$

$$y = 1 - B$$

$$k = \min (c, m, y)$$

$$C = \min (1, \max (0, c - UCR(k)))$$

$$M = \min (1, \max (0, m - UCR(k)))$$

$$Y = \min (1, \max (0, y - UCR(k)))$$

$$K = \min (1, \max (0, BG(k)))$$

Здесь UCR- under color removal, BG- black generation

Black generation – черный цвет подменяет CMY компоненты в тенях

Under color removal – черный цвет подменяет CMY компоненты в нейтральных цветах.

Существуют 2 основных пути для определения черного цвета в печати:

- Undercolor removal (UCR) – CMY компоненты замещаются черным цветом в нейтральных цветах. При этом происходит экономия чернил, и передается больше деталей в тенях. Обычно используется при печати газет и на невощенной бумаге.
- Gray component replacement (GCR) – одинаковые значения CMY замещаются как в тенях, так и в насыщенных цветах. Лучше передает черные цвета и обеспечивает баланс серого.

Если выбран режим GCR, то необходимо задать значения функции Black Generation и значение UnderColor Addition (UCA).

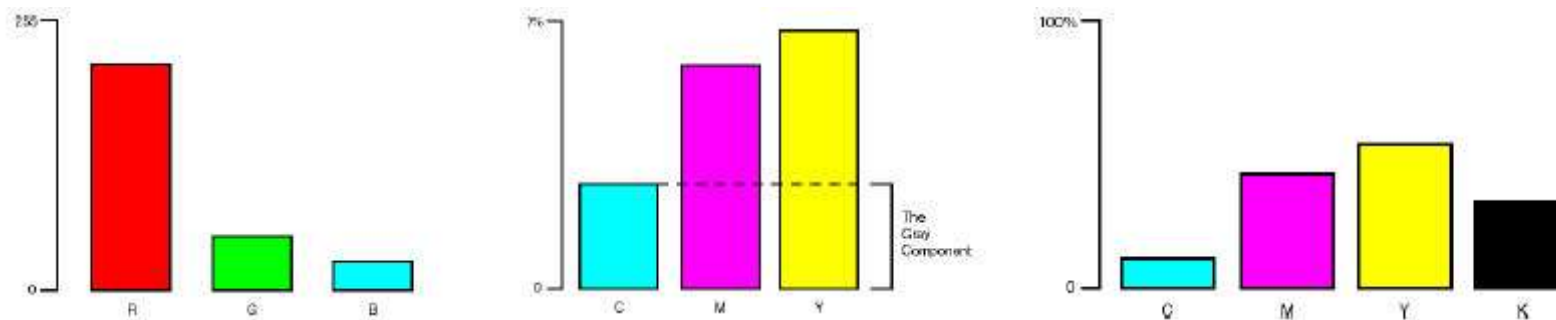
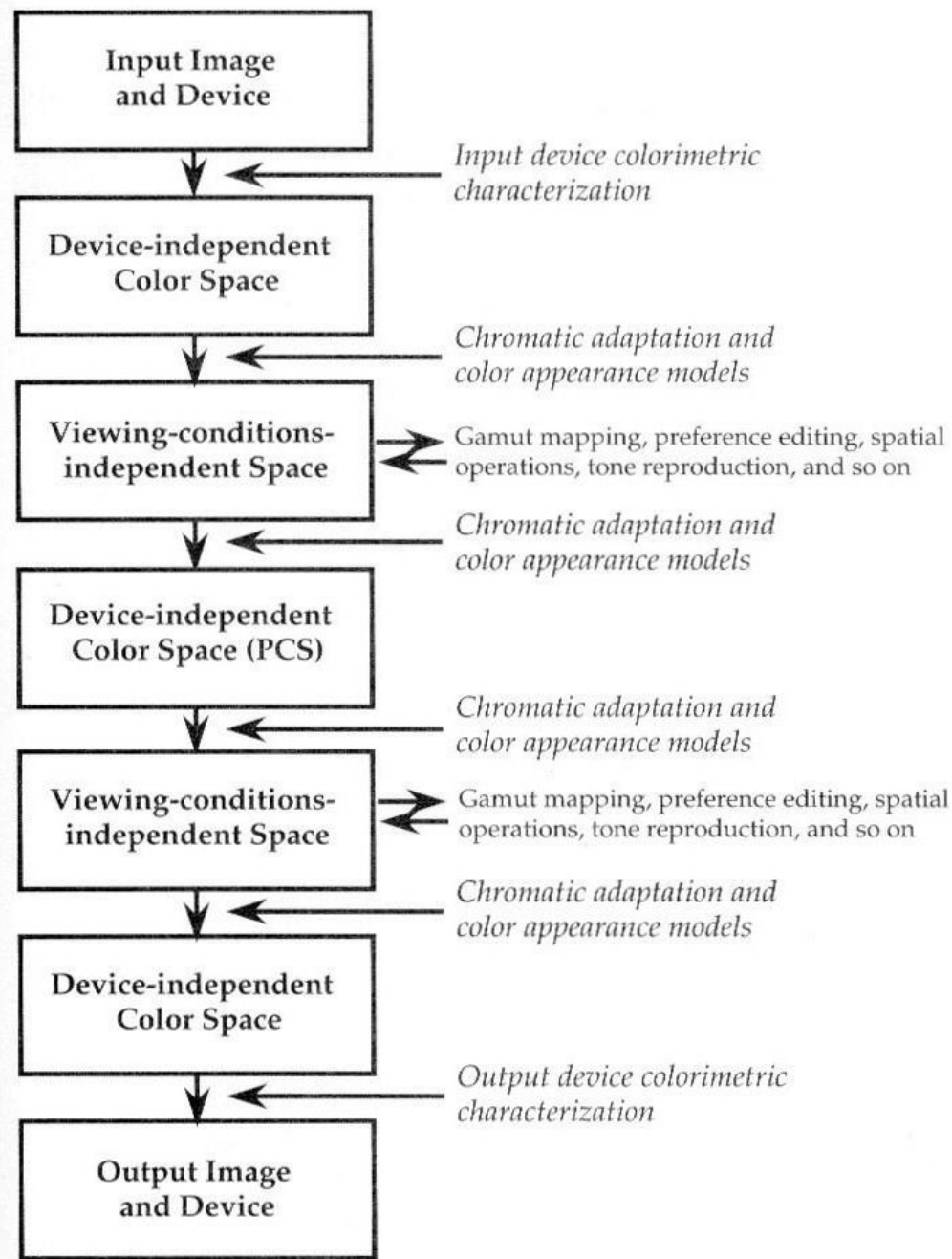
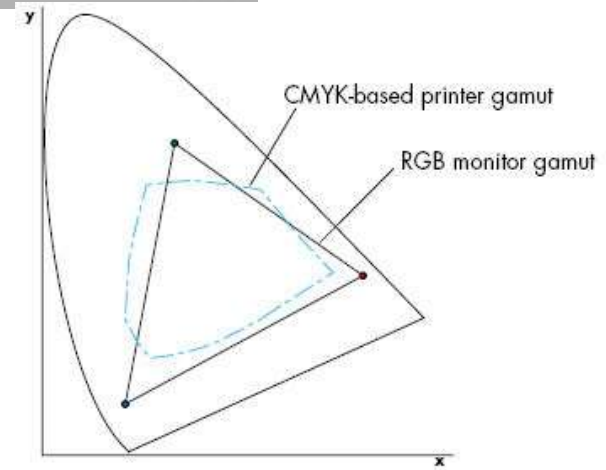
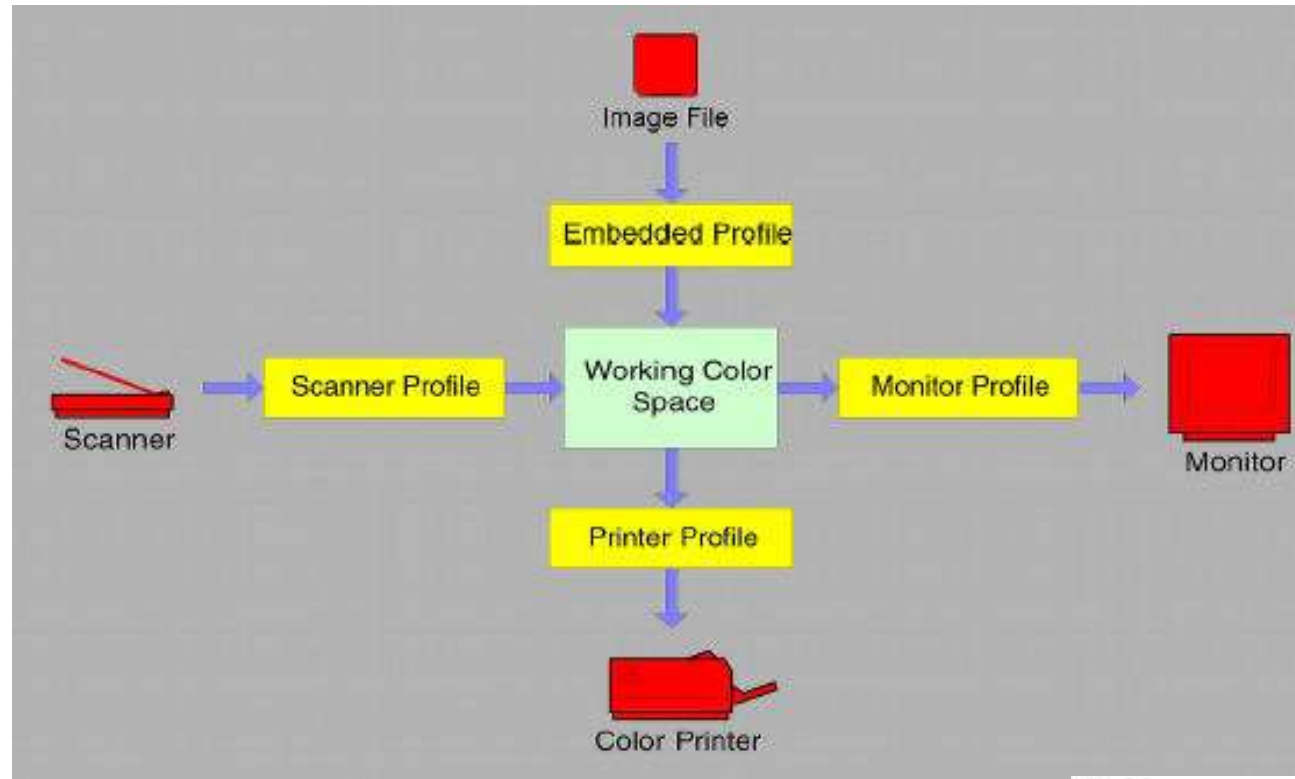


Рис 15. Стратегия GCR.





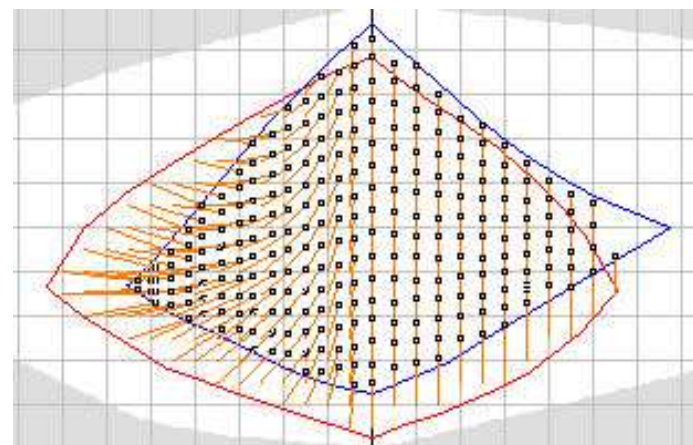
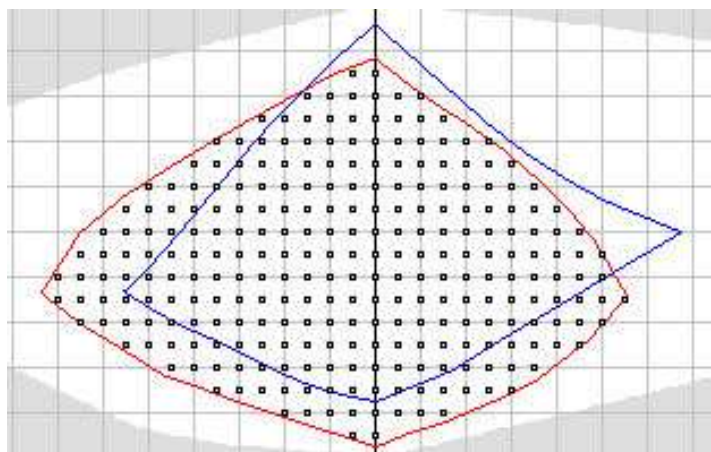


Рис 13. Преобразование гамута при “perceptual rendering”.

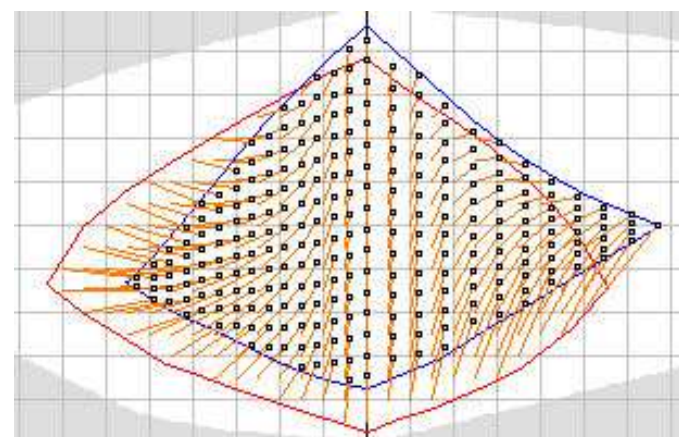
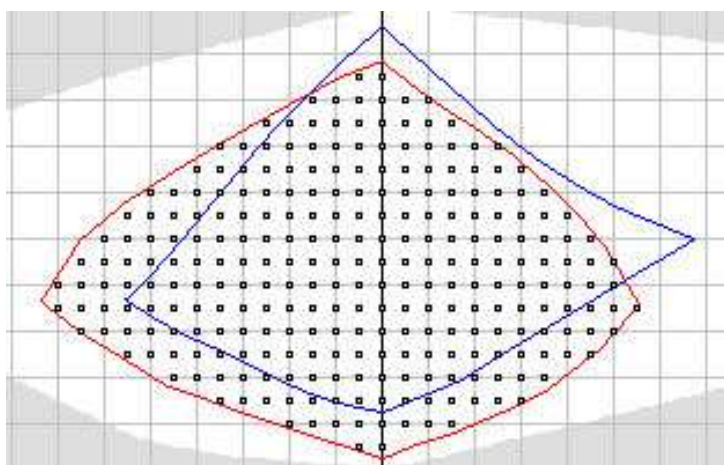
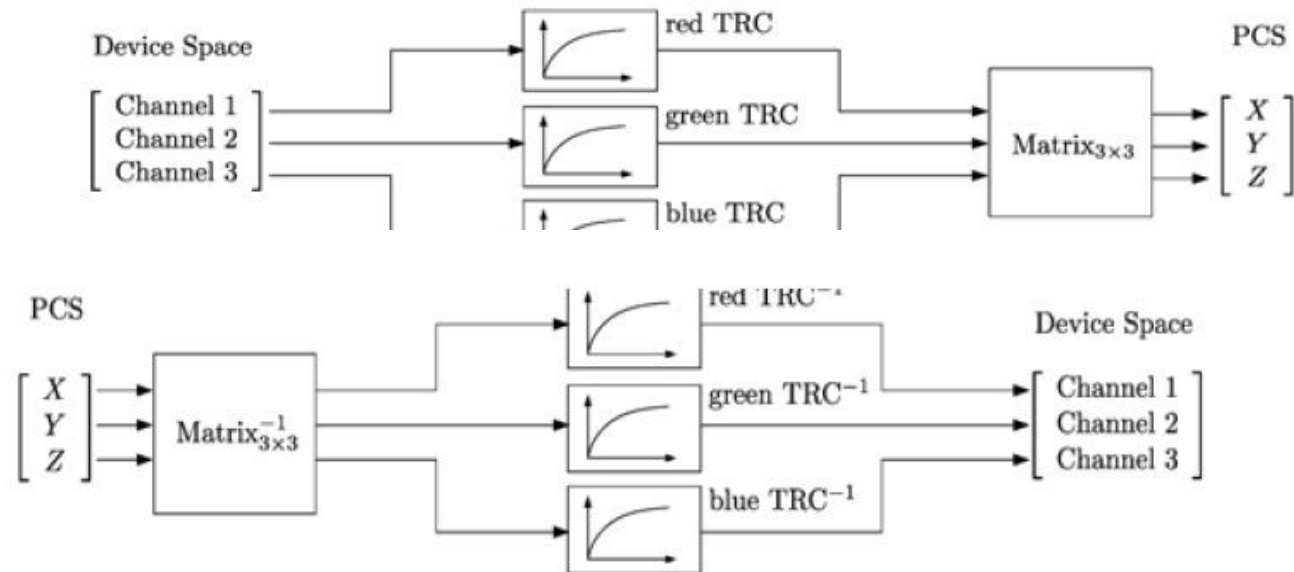
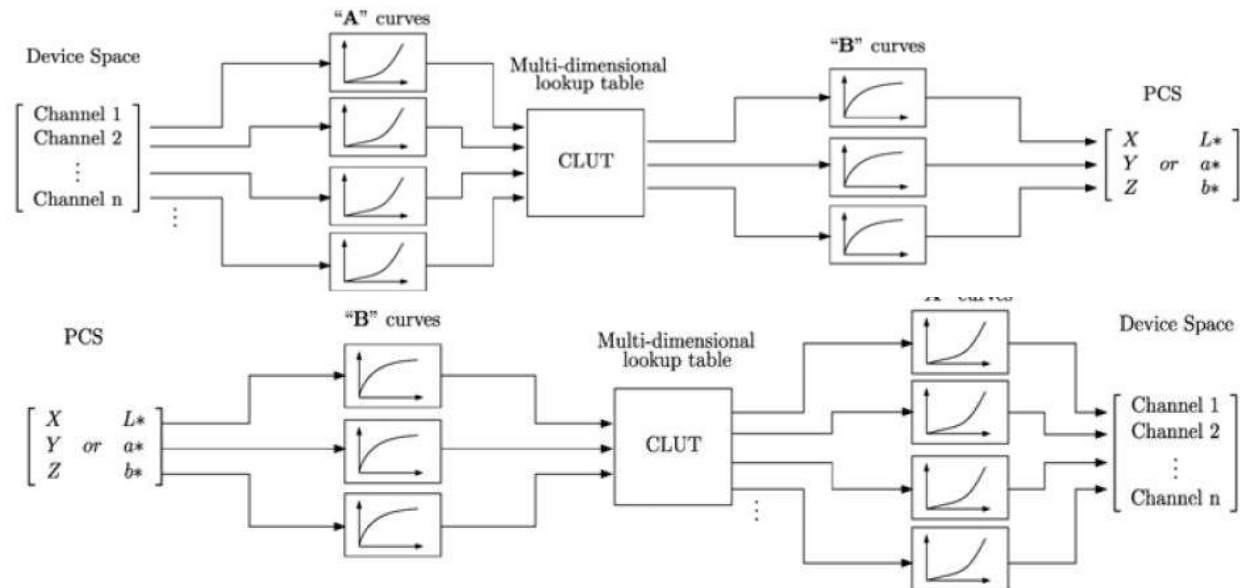


Рис 14. Преобразование гамута при “saturation rendering”.

### Матричное задание информации для перекодировки

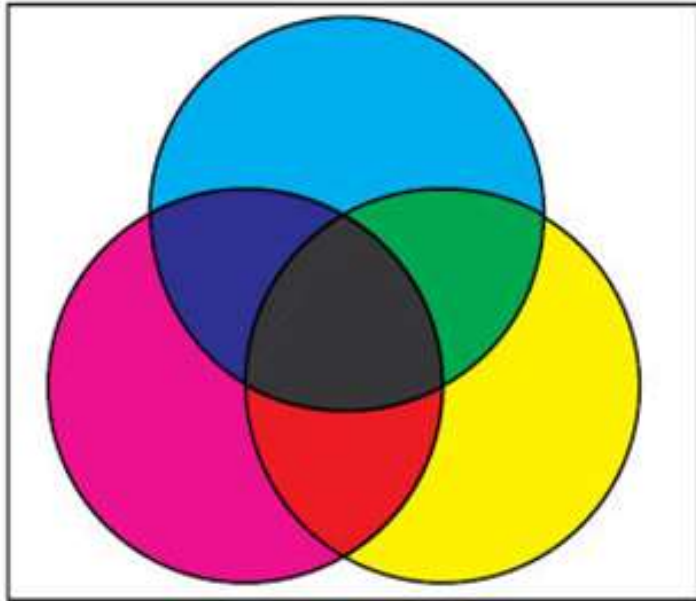


### Табличное задание информации для перекодировки





# Цветовые пространства CMY, CMYK



**Субтрактивная модель (CMY)**

**Преобразование CMYK->RGB**

$$R = 1 - C(1 - K) - K$$

$$G = 1 - M(1 - K) - K$$

$$B = 1 - Y(1 - K) - K$$

**Преобразование RGB->CMY**

$$C = 1 - R$$

$$M = 1 - G$$

$$Y = 1 - B$$

**Преобразование CMY->CMYK**

if  $\min\{C, M, Y\} = 1$  then

$$CMYK = (0, 0, 0, 1)$$

else

$$K = \min\{C, M, Y\}$$

$$CMYK = \left( \frac{C - K}{1 - K}, \frac{M - K}{1 - K}, \frac{Y - K}{1 - K}, K \right);$$