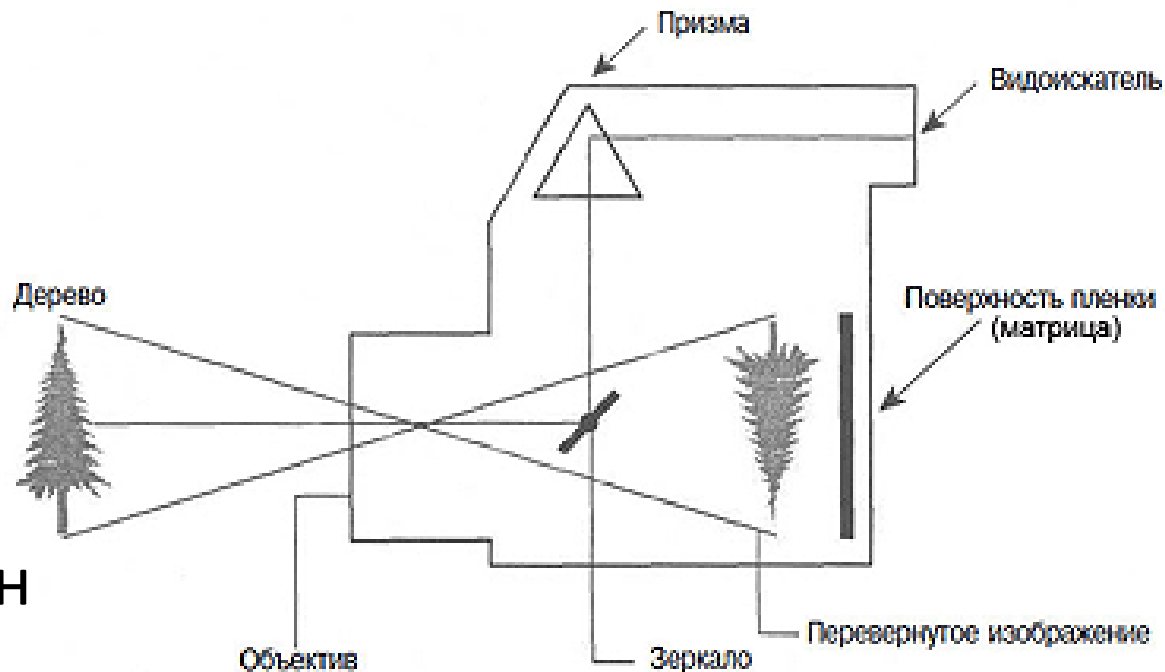
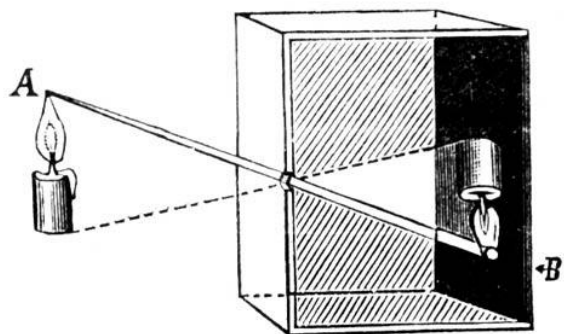




Цвет

Лекция 2

Камера обскура (*obscura* - темная)



Принцип был известен еще Аристотелю (384-322 до Н.Э.)

Помогала художникам: описана Леонардо да Винчи (1452-1519)

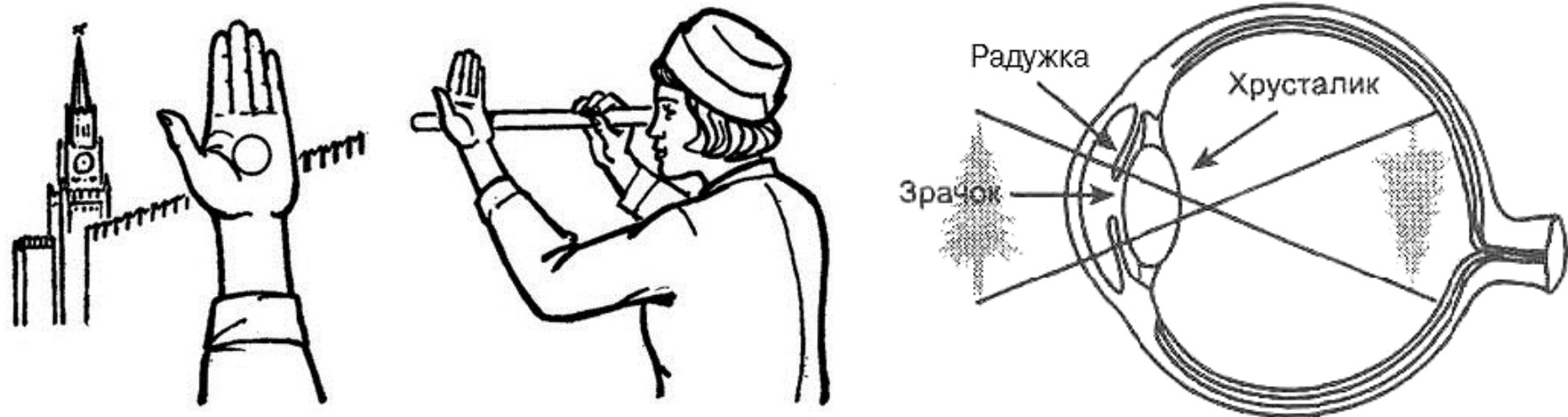
Принцип работы фотоаппарата

<http://www.kedilivideo.com/izle/gvzpu0Q9RTU/making-your-own-room-with-a-view>

www.kedilivideo.com/izle/-cr5YWZSIId0/reproject-the-art-of-camera-obscura

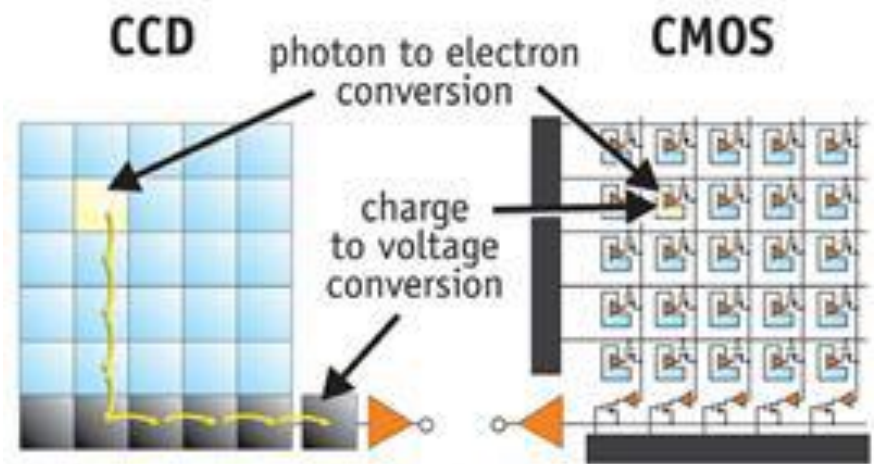
<http://www.kedilivideo.com/izle/qBt8ZERvE1Q/you-can-do-it-room-obscura>

Бинокулярное зрение



На сетчатке каждого глаза отображается 2D проекция изображения. За счет бинокулярного зрения есть возможность определять расстояния до объектов и их взаимное расположение.

Цифровая камера. Дискретизация и квантование



CCDs move photogenerated charge from pixel to pixel and convert it to voltage at an output node. CMOS imagers convert charge to voltage inside each pixel.

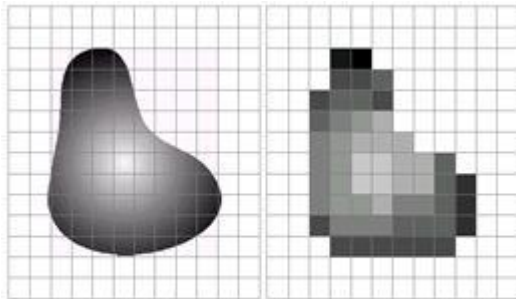
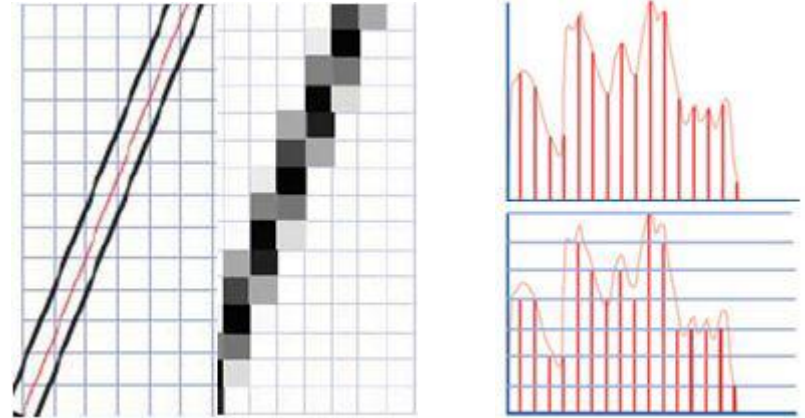


FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

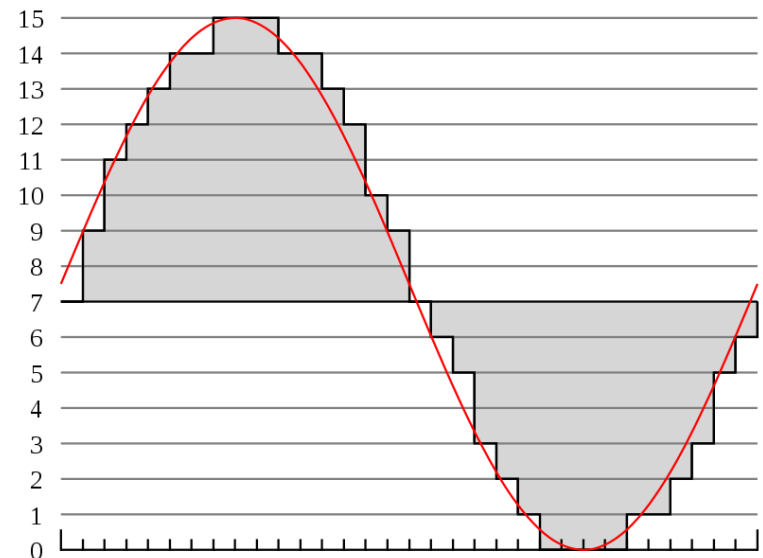
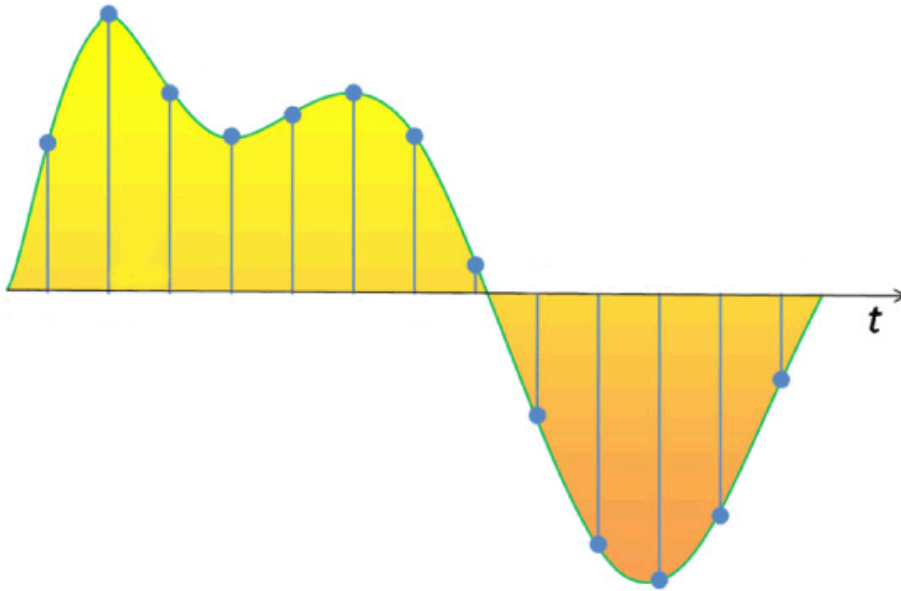


Дискретизация - по пространству

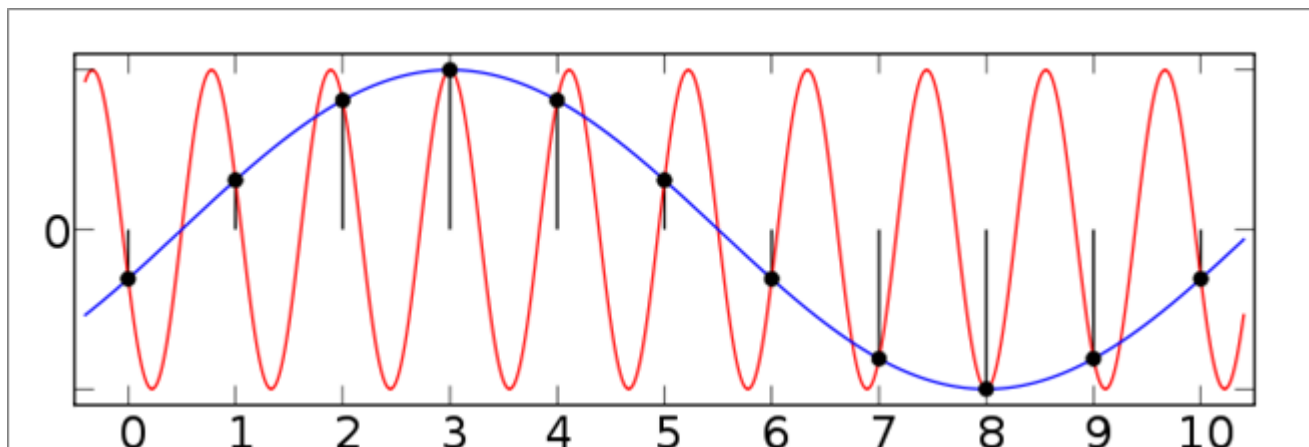
Квантование - по яркости

Дискретизация и квантование

- Дискретизация сигнала – разбиение непрерывного сигнала на «выборки» (**sampling**, *sampling rate*)
- Квантование выборки – кодирование аналогового сигнала в дискретные величины (**quantization**)



Частота дискретизации. Теорема Котельникова



Два разных синусоидальных сигнала после оцифровки не отличаются: высокочастотный с частотой $f > f_s / 2$ (красный) и низкочастотный с частотой $f_s < f$ (синий).

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой сигнал, без потери информации, частота дискретизации, как минимум, должна быть вдвое больше, чем наивысшая частота, присутствующая в спектре аналогового сигнала.

Дискретизация (разрешение)



8x8



16x16



32x32



64x64



128x128



256x256

Квантование (глубина цвета)



2 цвета



3 цвета



4 цвета



8 цветов



16 цветов



256 цветов

Определение изображения

1. **Картина**, получаемая в результате прохождения через оптическую систему лучей, распространяющихся от объекта, и воспроизводящая его контуры и детали.
(Физический энциклопедический словарь)

2. **Функция интенсивности** (яркости) канала, заданная на 2х мерной сетке (матрице):

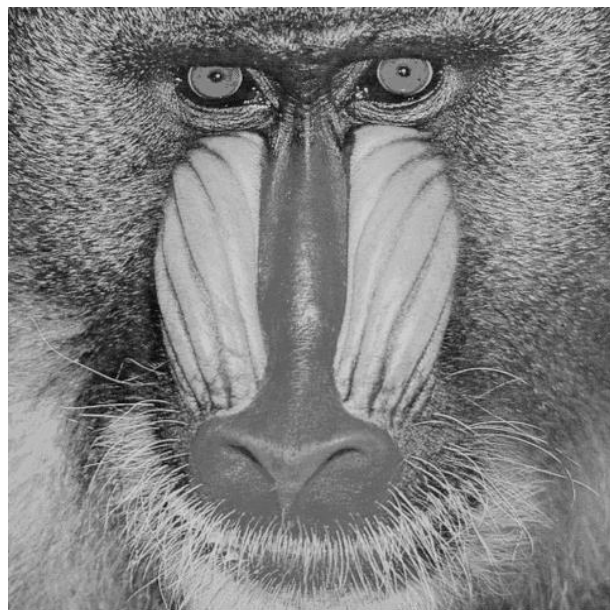
$$I = g(x, y), \{x \in [x_0, x_1], y \in [y_0, y_1]\}$$

Используется дискретное представление:

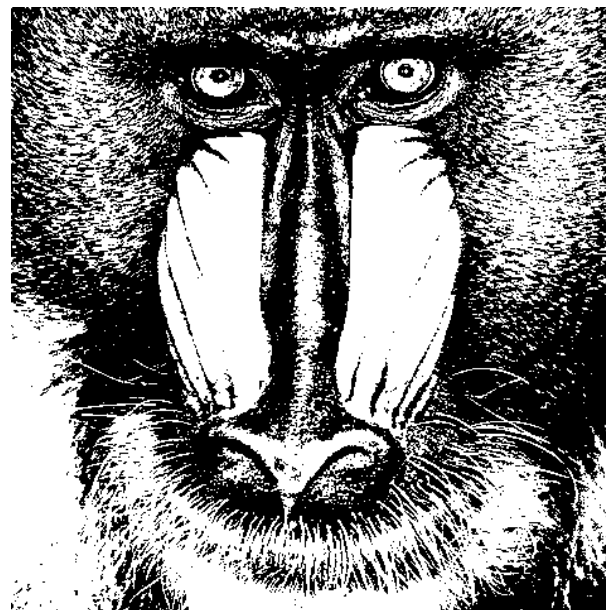
$$I = g(i, j), \{i \in \overline{1, n}, j \in \overline{1, m}\}$$

Fixed Thresholding

```
if (Img(x, y) > Threshold)
    color = 1;
else
    color = 0;
```



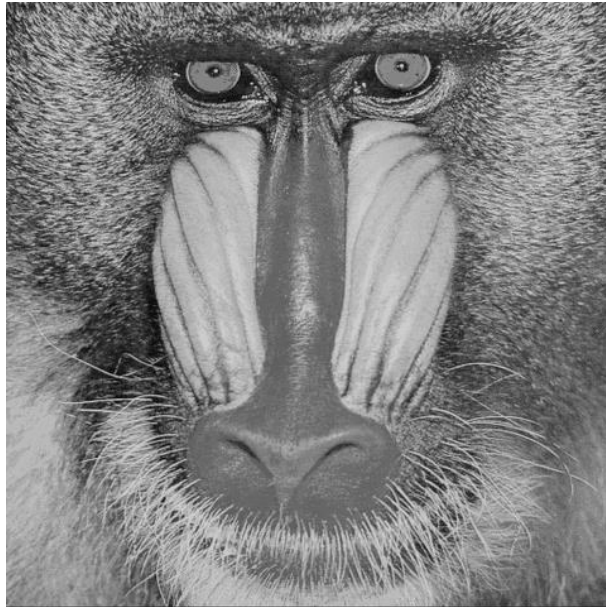
оригинал



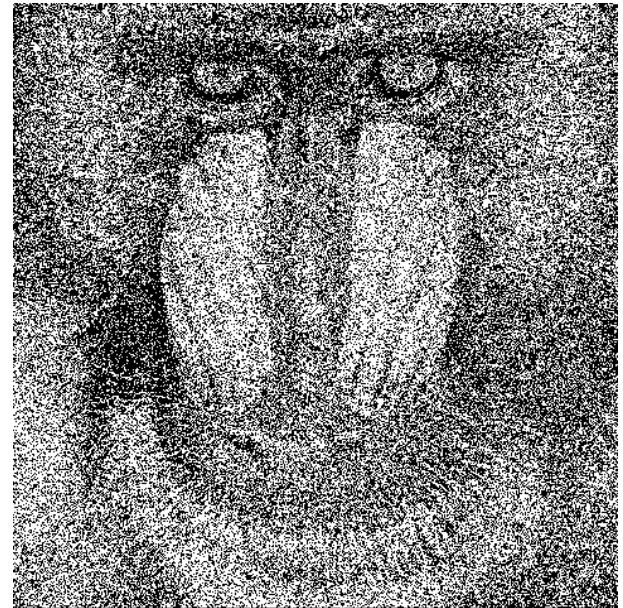
порог = 128

Random Thresholding

```
if (Img(x, y) > rand() % 255)  
    color = 1;  
else  
    color = 0;
```

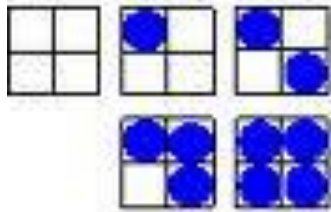


оригинал

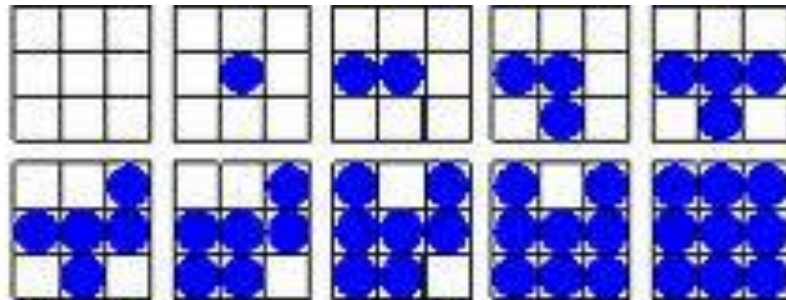


«случайный» порог

Амплитудная и частотная модуляция



5 уровней
(2x2)



10 уровней
(3x3)

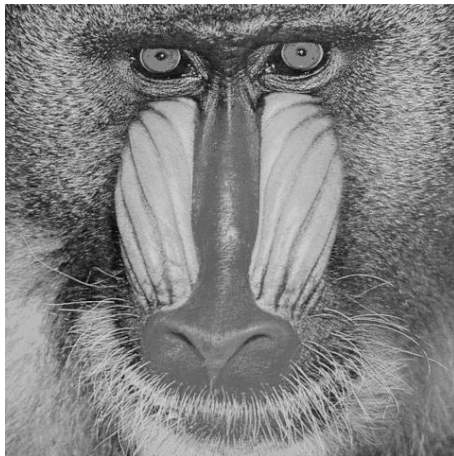
Порядковое сглаживание (order dithering)

0 2
3 1

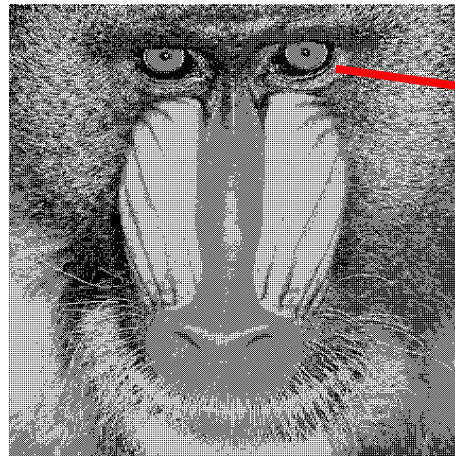


экран
заполняется
матрицами

```
int M_2x2[2][2] =  
{  
  {0, 2},  
  {3, 1}  
};  
  
if (Img(x, y) * 5 / 256 > M_2x2[y % 2][x % 2])  
  color = 1;  
else  
  color = 0;
```



13 оригинал



матрица 2x2



увеличенный
фрагмент

Метод Байера получения матриц порядкового сглаживания

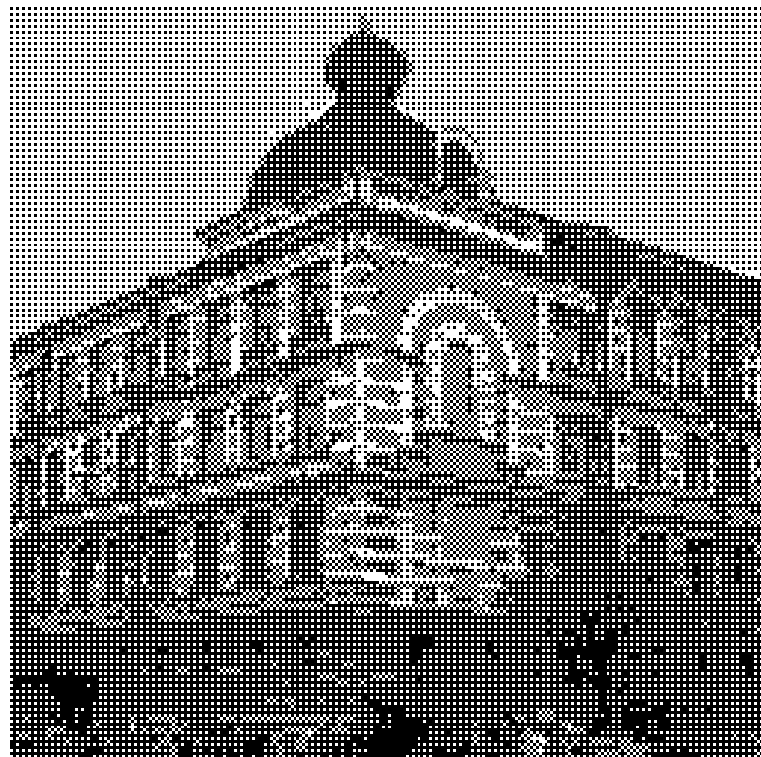
$0*4$	$2*4$	$0*4+2$	$2*4+2$
$3*4$	$1*4$	$3*4+2$	$1*4+2$
$0*4+3$	$2*4+3$	$0*4+1$	$2*4+1$
$3*4+3$	$1*4+3$	$3*4+1$	$1*4+1$

```
int M2[2][2] =      int M4[4][4] =
{
  {0, 2},           { 0,  8,  2, 10},
  {3, 1}            {12,  4, 14,  6},
};                  { 3, 11,  1,  9},
                    {15,  7, 13,  5},
};

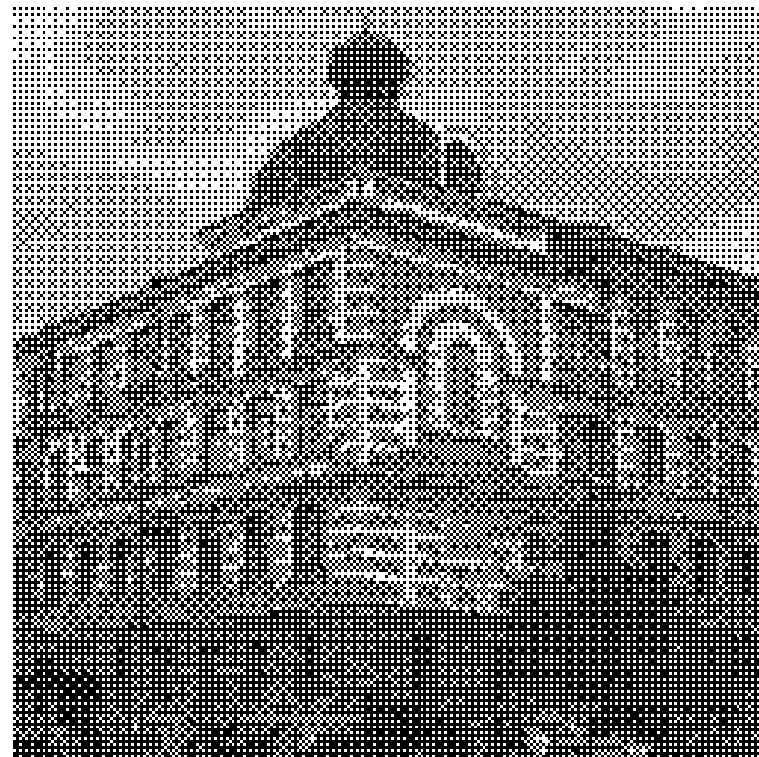
-----

for (i = 0; i < 4; i++)
  for (j = 0; j < 4; j++)
  {
    M2n[0 + i][0 + j] = Mn[i][j] * 4 + 0;
    M2n[0 + i][4 + j] = Mn[i][j] * 4 + 2;
    M2n[4 + i][0 + j] = Mn[i][j] * 4 + 3;
    M2n[4 + i][4 + j] = Mn[i][j] * 4 + 1;
  }
```

Примеры матриц Байера

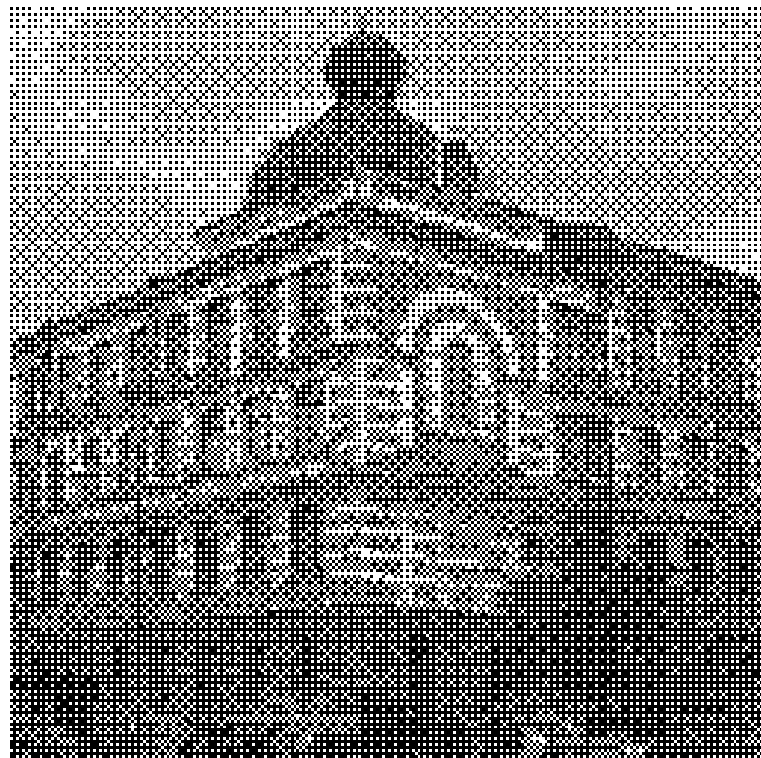


2x2

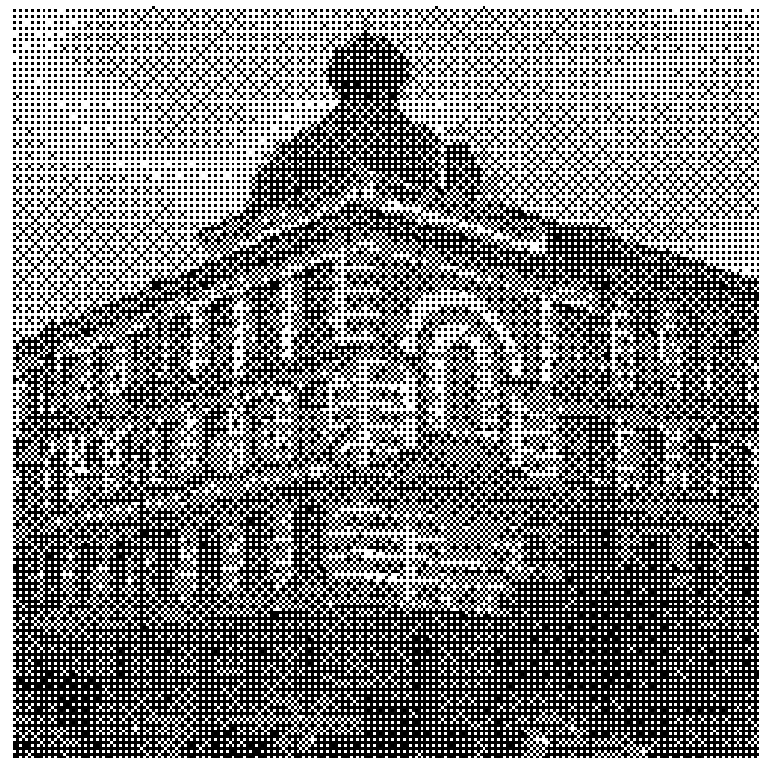


4x4

Примеры матриц Байера

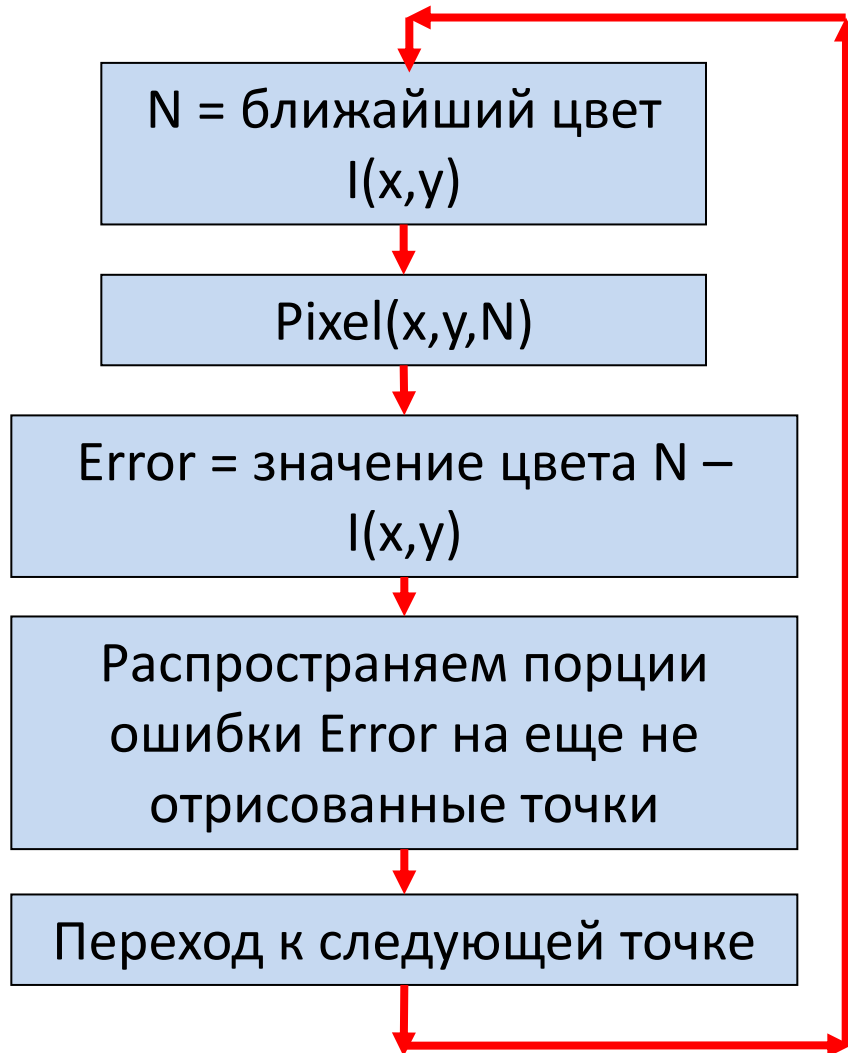


8x8



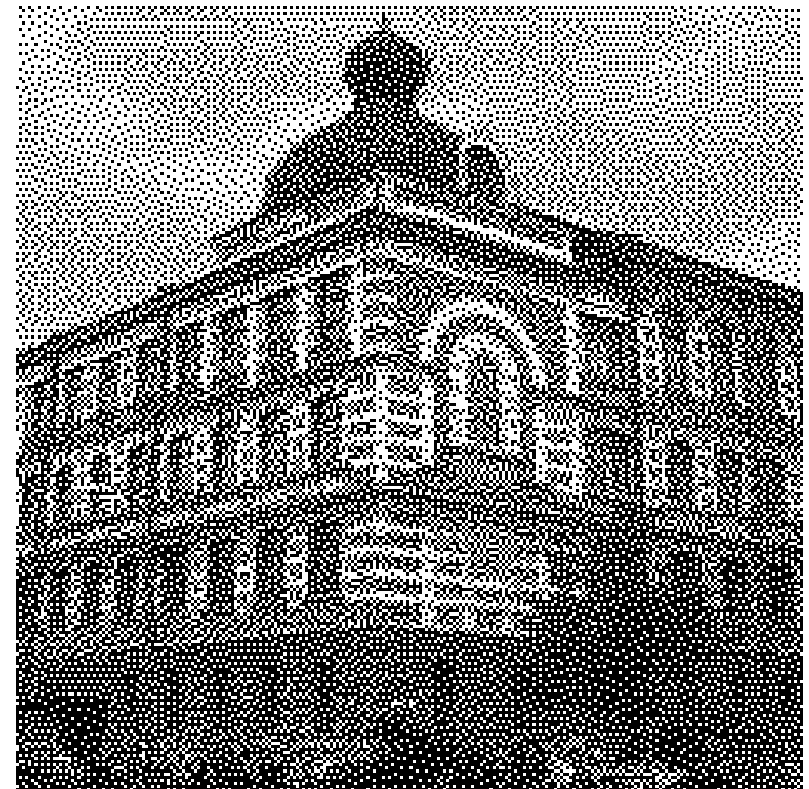
16x16

Error Diffusion: алгоритм Флойда-Стейнберга



	*	7
3	5	1

1/16



Error Diffusion: примеры фильтров

*	3
3	2

False Floyd-Steinberg

1/8

		*	7	5
3	5	7	5	3
1	3	5	3	1

Jarvice, Judice, Ninke

1/48

		*	8	4
2	4	8	4	2
1	2	4	2	1

Stucki

1/42

		*	8	4
2	4	8	4	2

Burkes

1/32

Frankie Sierra

		*	5	3
2	4	5	4	2
	2	3	2	

1/32

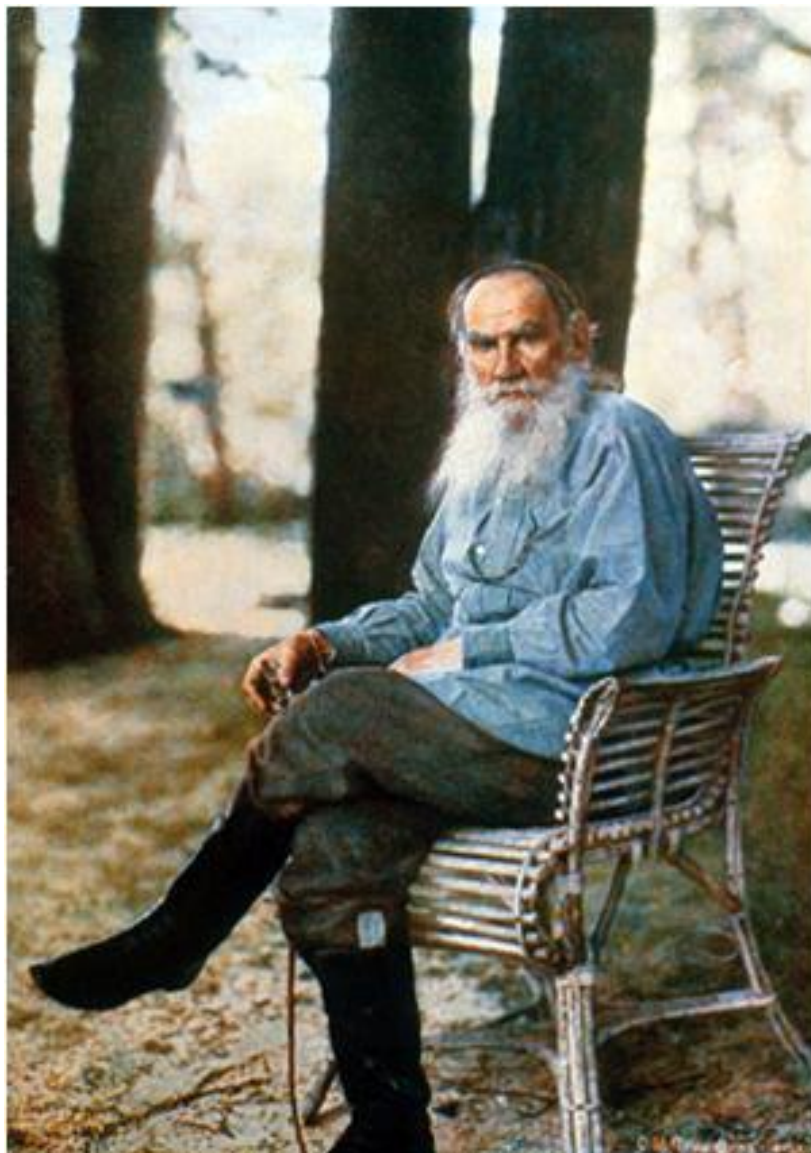
		*	4	3
1	2	3	2	1

1/16

	*	2
1	1	

1/4

Цветные фотографии?



Цвет -



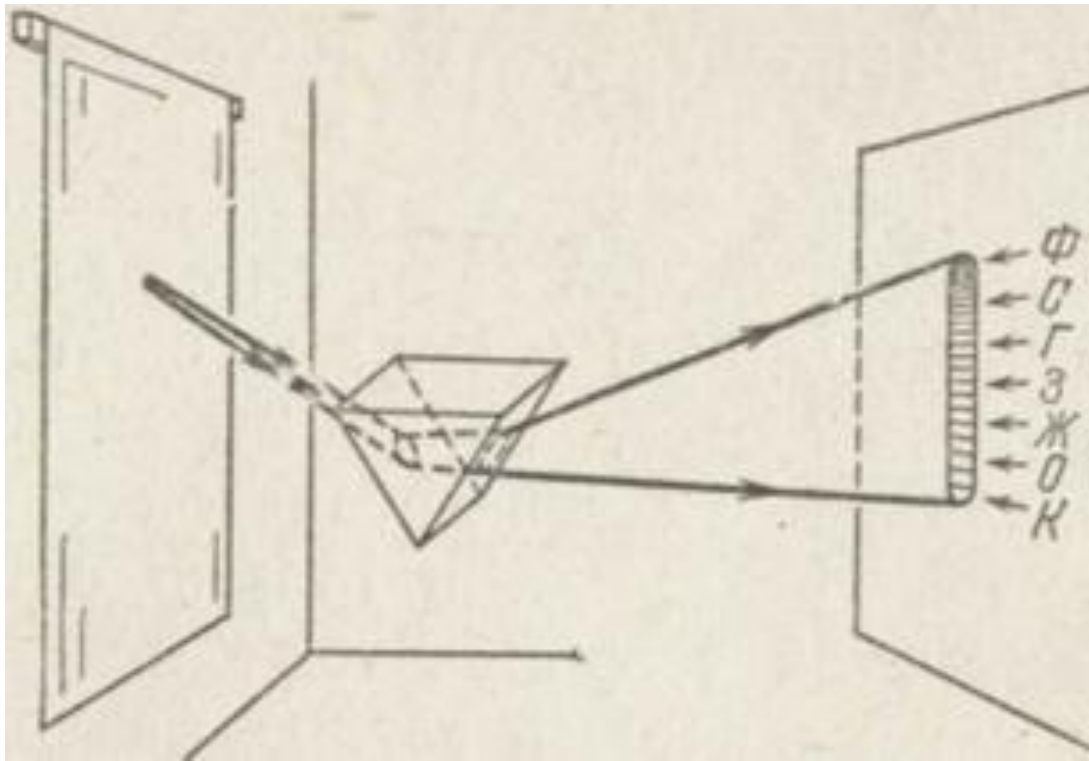
- Это **психологическое свойство** нашего зрения, возникающее при наблюдении объектов и света, а не физические свойства объектов и света (S. Palmer, *Vision Science: Photons to Phenomenology*).

- Это **результат взаимодействия**
света,
сцены
и нашей зрительной системы.

Свет

Опыт Ньютона, 1666 г.

По разложению белого света на составляющие.



Ранее считалось, что белый свет является простейшим

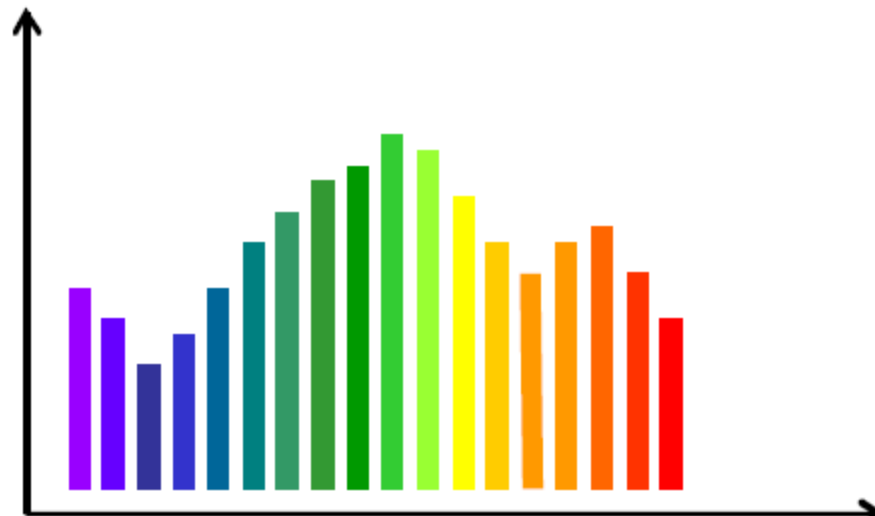
Что такое свет?

- Корпускулярная теория света (Ньютон).
- Электромагнитная волна (Гюйгенс).
 - Длина волны – расстояние, которое проходит волна в течение одного периода колебания.

Физика света

- Любой источник света можно полностью описать спектром: количество излученной энергии в единицу времени для каждой длины волны в интервале 400-700 нм.

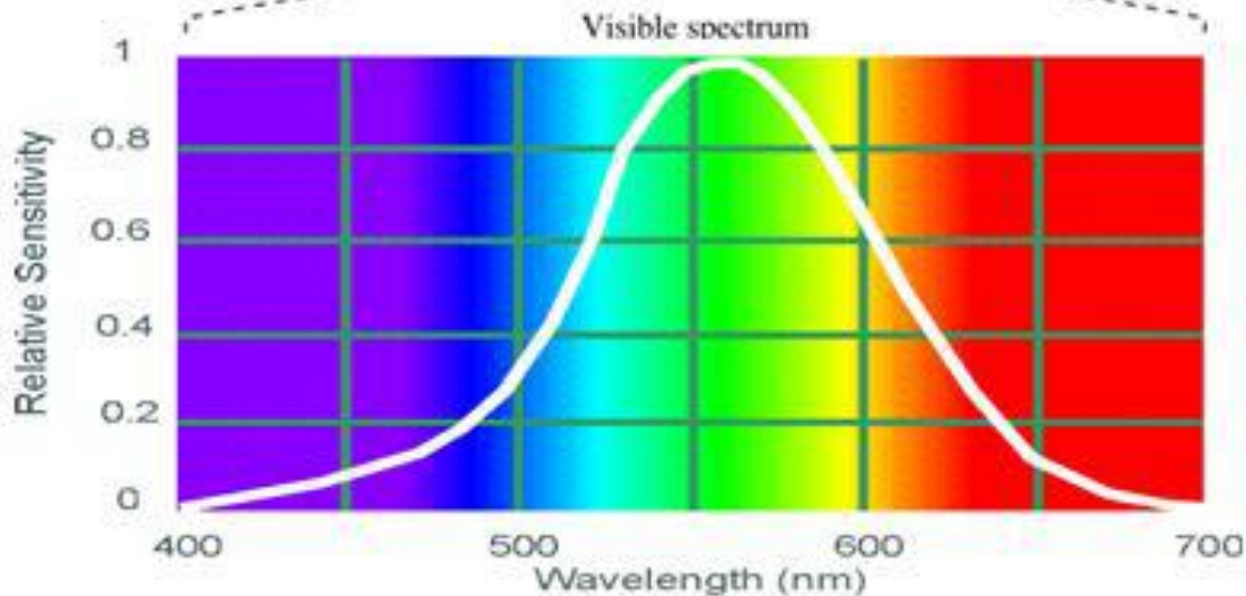
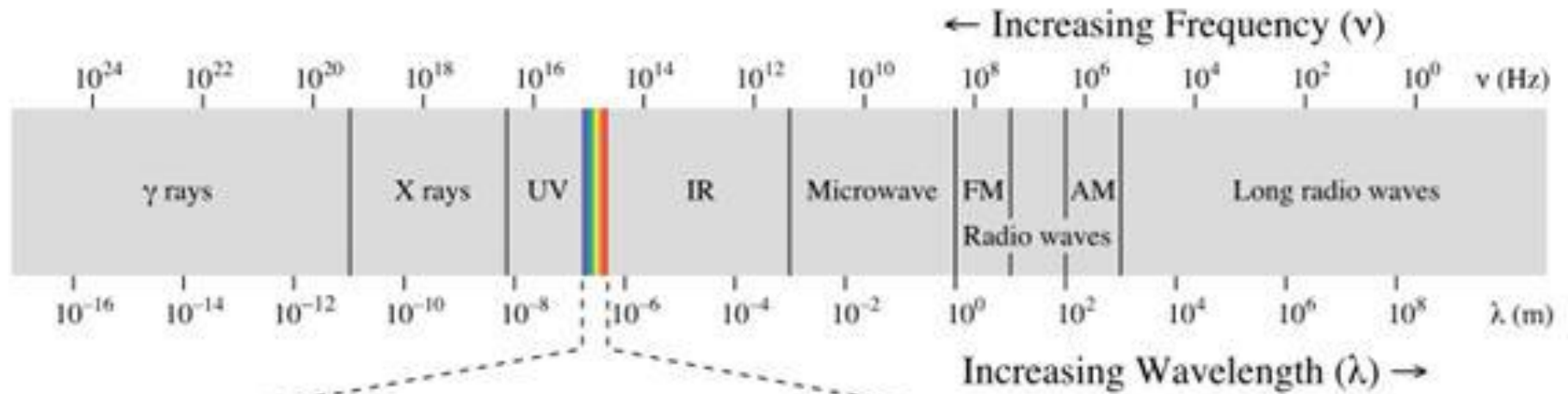
Энергия
(Число
фотонов
в мс)



© Stephen E. Palmer, 2002

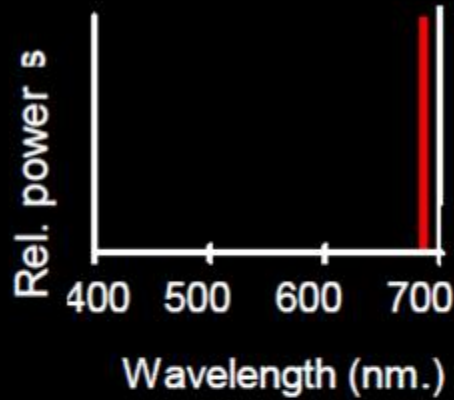
Длина волны

Электромагнитный спектр

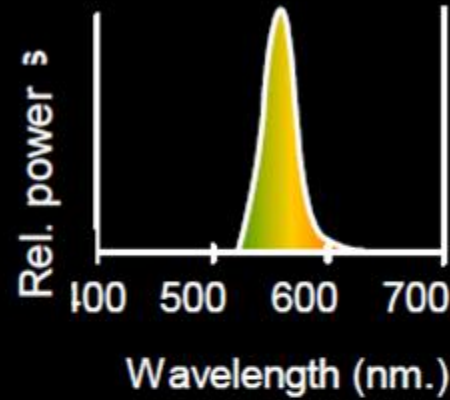


Примеры спектров различных ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

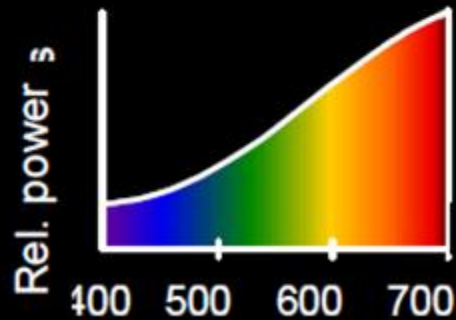
Рубиновый лазер



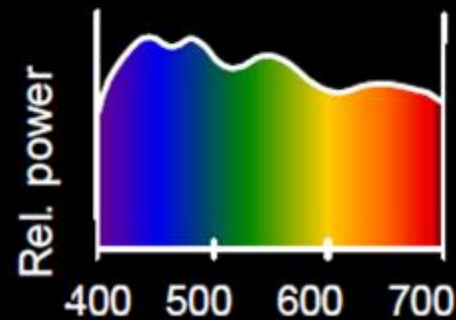
Кристалл фосфида галлия



Вольфрамовая лампочка



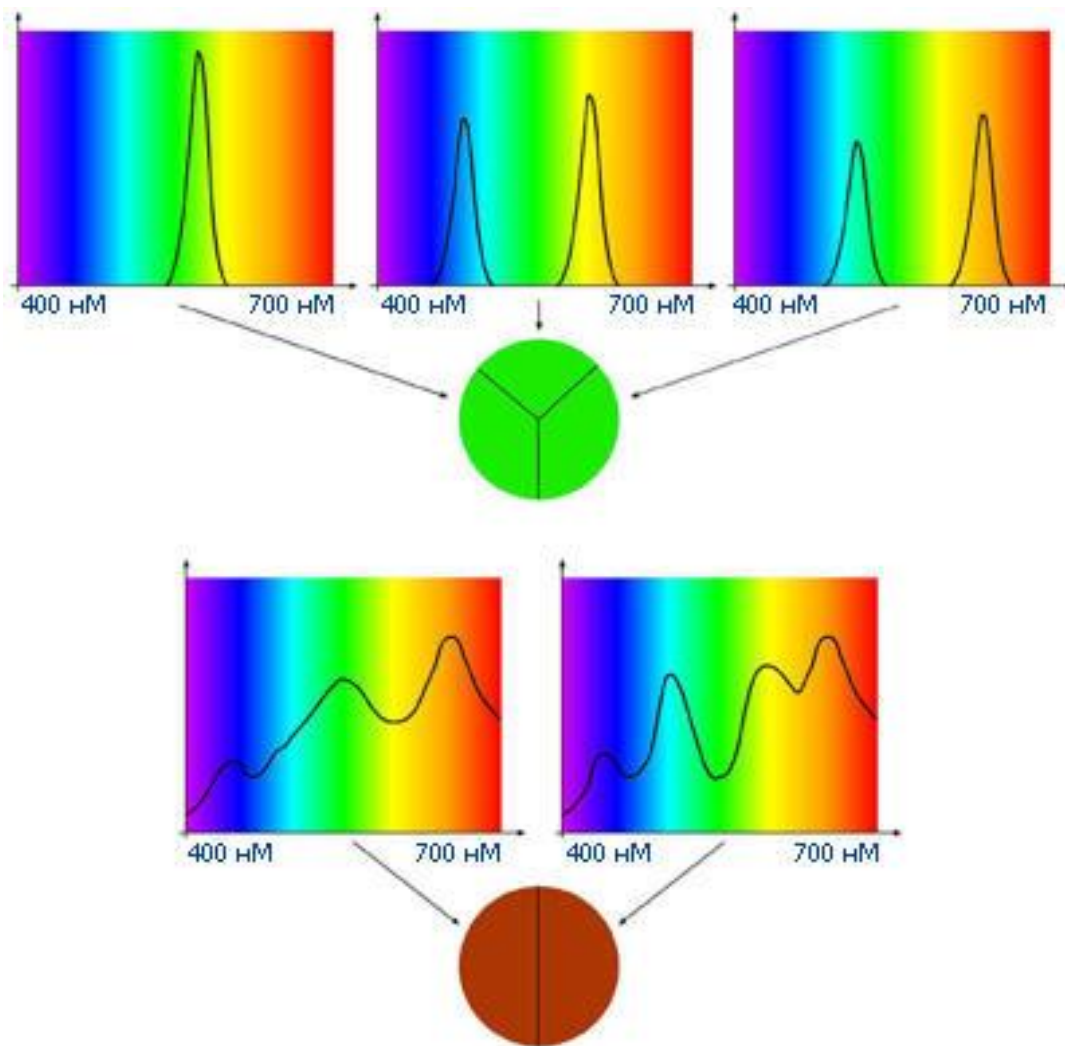
Дневной свет



Типы излучений

- **Монохроматическим** называется излучение, спектр которого состоит из единственной линии, соответствующей единственной длине волны (лазер). Радуга, полученная Ньютоном, состоит из бесчисленного множества монохроматических излучений.
- Источник или объект является **ахроматическим**, если наблюдаемый свет содержит все видимые длины волн в приблизительно равных количествах (белый, черный, серый).
- Если воспринимаемый свет содержит длины волн в неравных количествах, то он называется **хроматическим**.

Метамерия излучений



Отраженный свет

Взаимодействие света и объектов



Видимый цвет – это результат взаимодействия спектра излучаемого света, поверхности и наблюдателя

Метамерия окрасок – различные типы поверхностей могут при одном типе освещения (лампа накаливания) давать одинаковый цвет, а при другом (лампа дневного света) – разный.

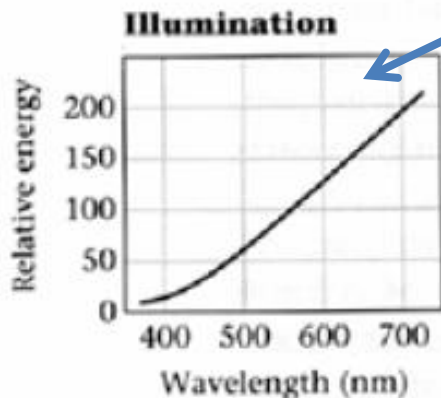
Взаимодействие света и объектов



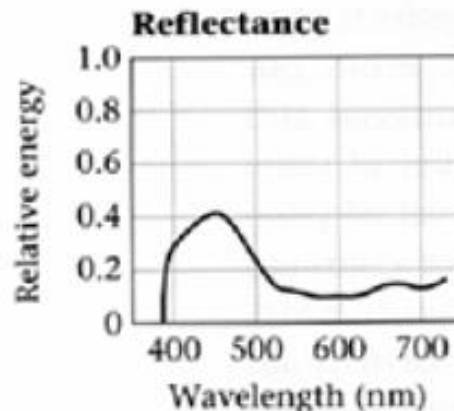
Видимый цвет – это результат взаимодействия спектра излучаемого света и поверхности и наблюдателя

Коэффициент восприятия света

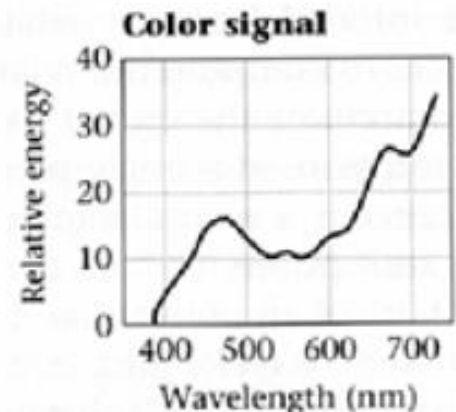
$$color = \int_0^{\infty} I(\lambda) * R(\lambda) * x(\lambda)$$



*

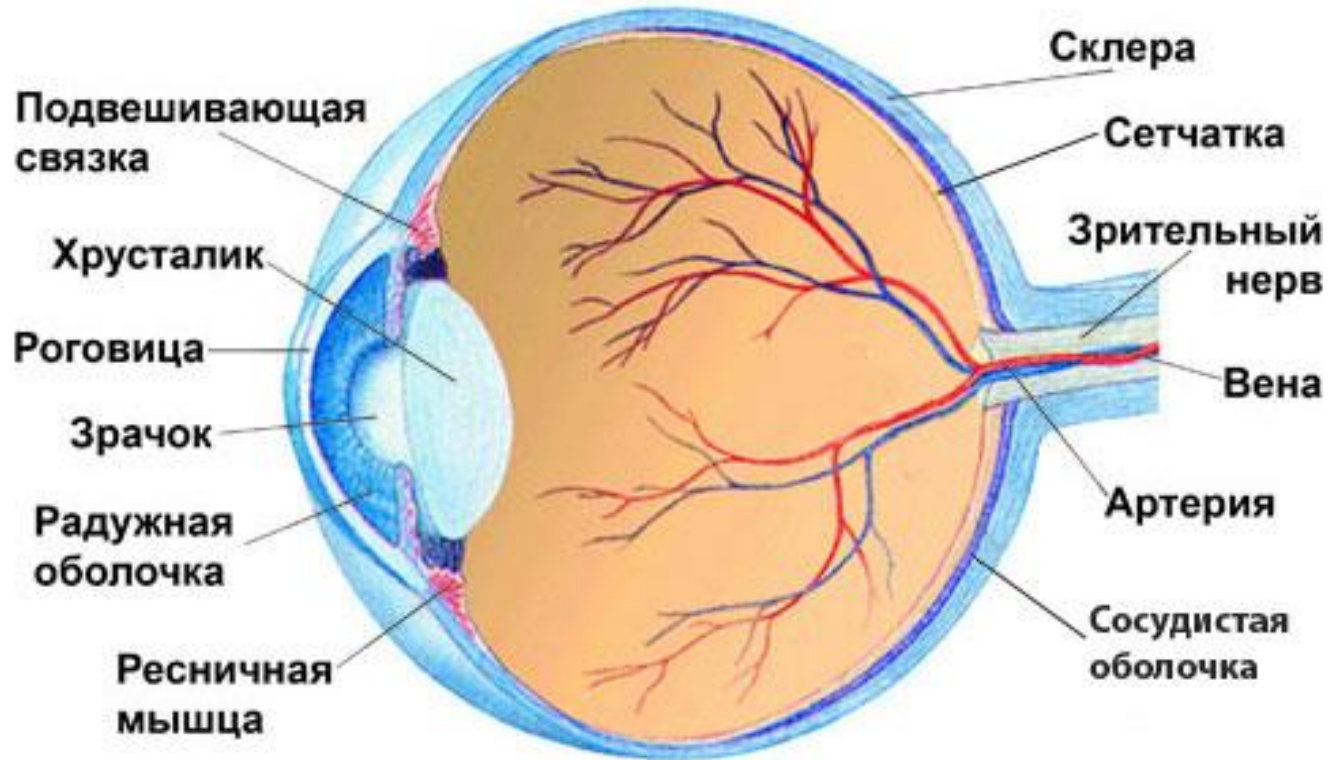


=



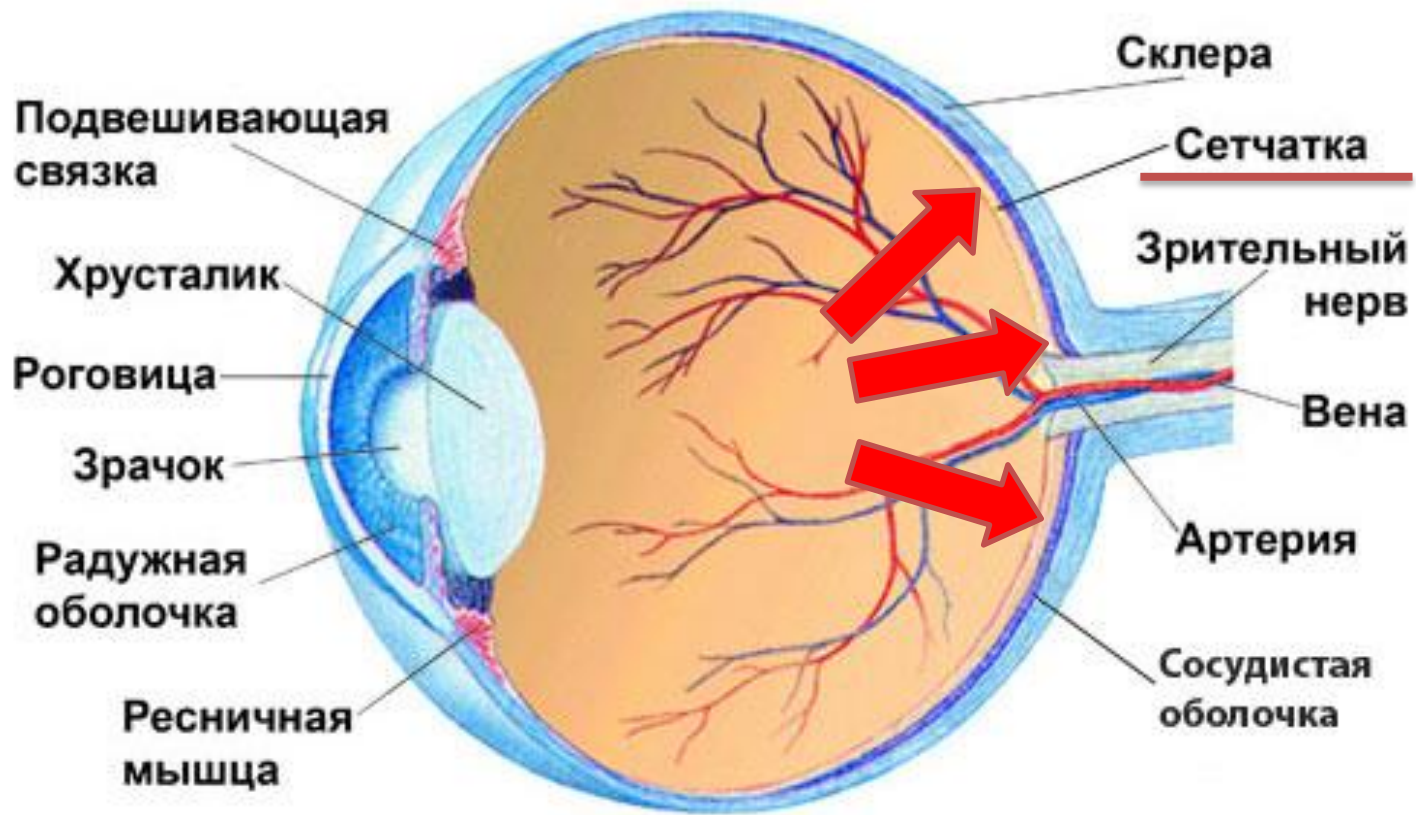
Восприятие цвета зрительной системой

Устройство глаза

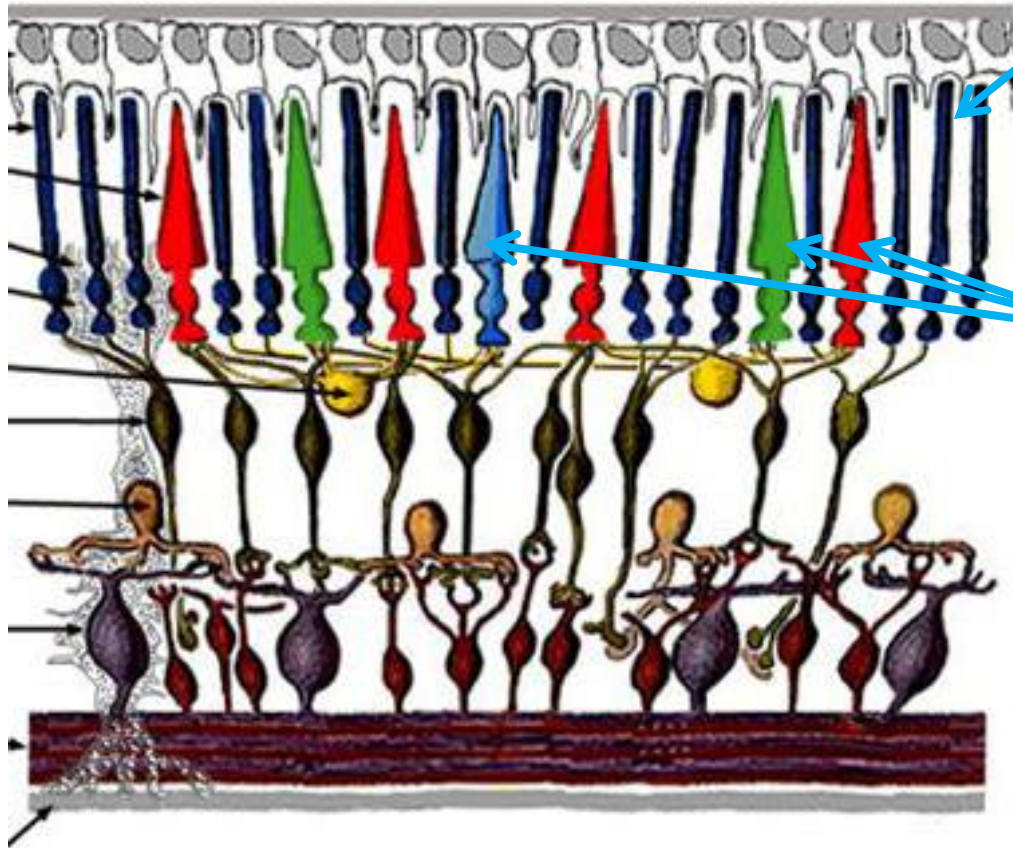


- Радужка – цветная пленка с радиальными мышцами.
- Зрачок – отверстие (апертура), диаметр управляется радужкой.
- Хрусталик – «линза», меняющая форму под действием мышц.
- Сетчатка – область, куда проецируется изображение.

Где происходит восприятие цвета?



Сетчатка глаза



- Палочки (Rods) - измеряют яркость (ночное зрение)

- Колбочки (Cones) - измеряют цвет (дневное зрение)

↑↑↑
Свет

Гипотеза о трёхмерности цветовосприятия выдвигалась Ломоносовым 1756 г.

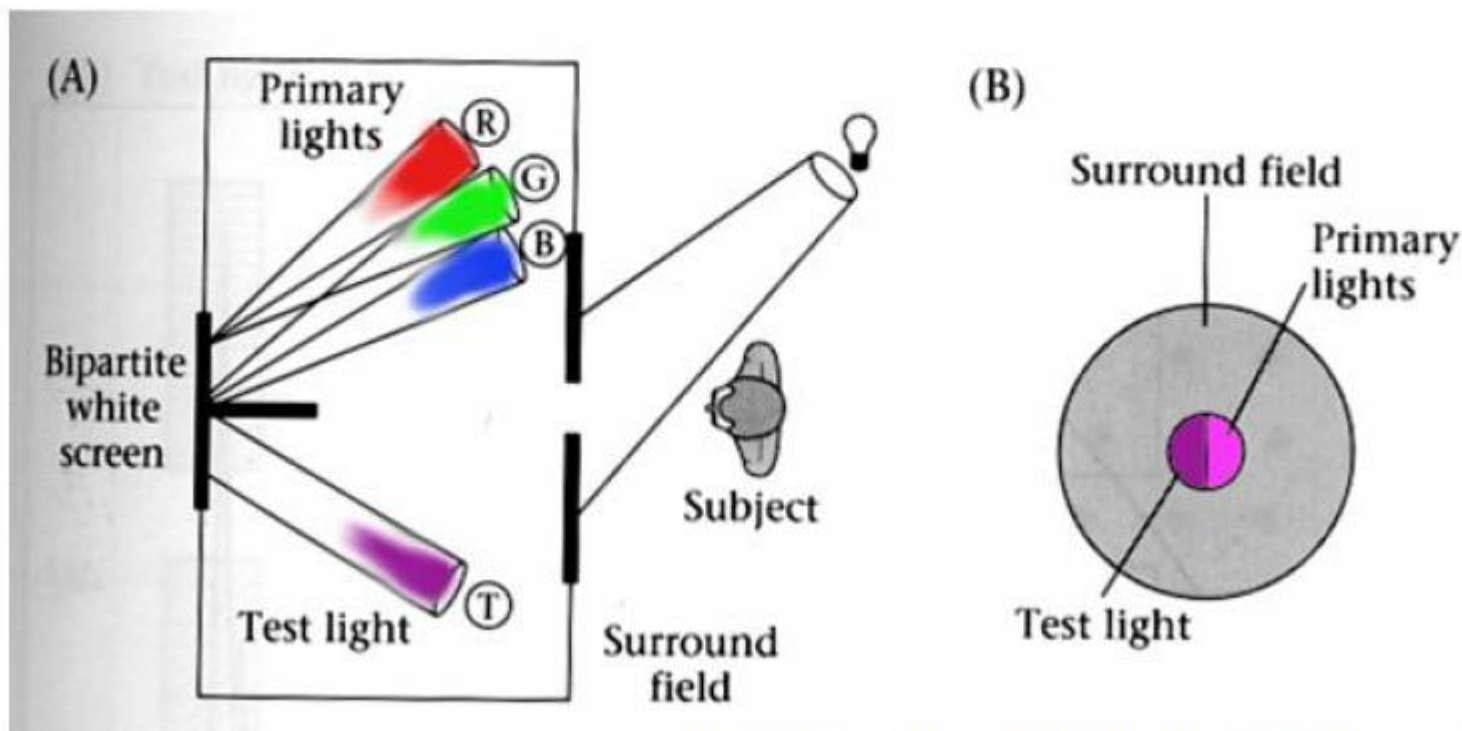
Цветовые модели



Стандартизация восприятия цвета

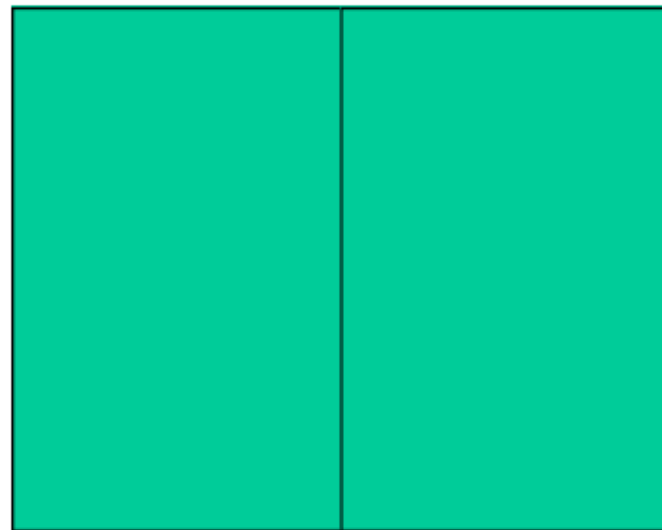
Мы хотим понять, какие спектры света вызывают одинаковые цветовые ощущения у людей

Эксперименты по сопоставлению цвета

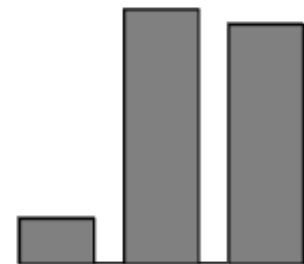




Эксперимент №1



Основные цвета,
необходимые для
сопоставления

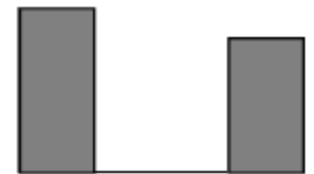
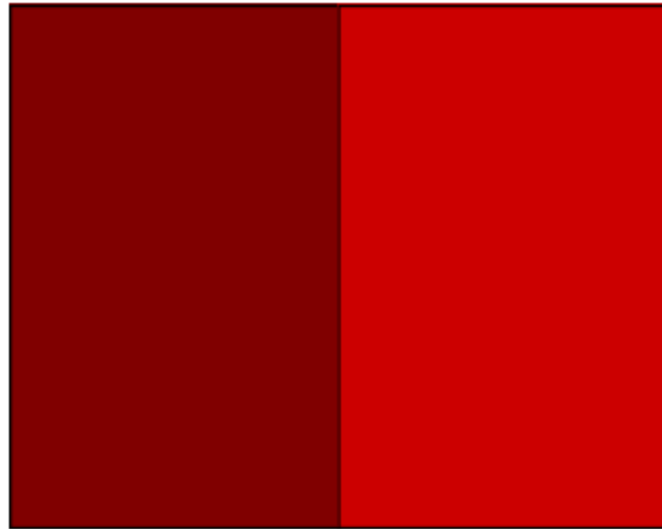


P₁ P₂ P₃

Source: W. Freeman



Эксперимент №2



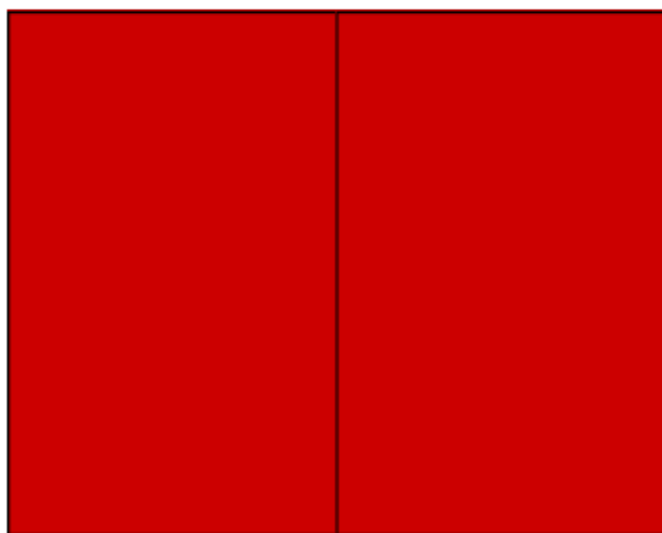
p_1 p_2 p_3

Source: W. Freeman

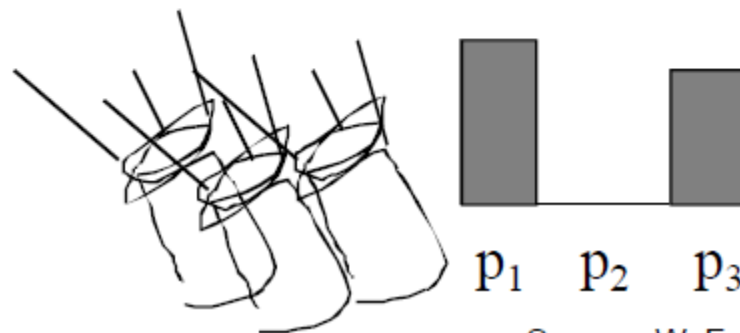
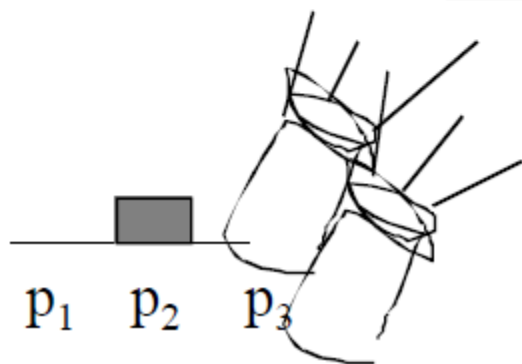
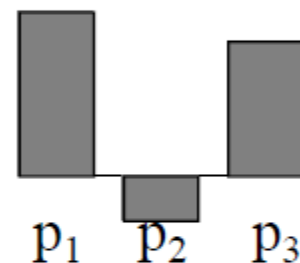


Эксперимент №2

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



Веса основных цветов, необходимых для сопоставления:

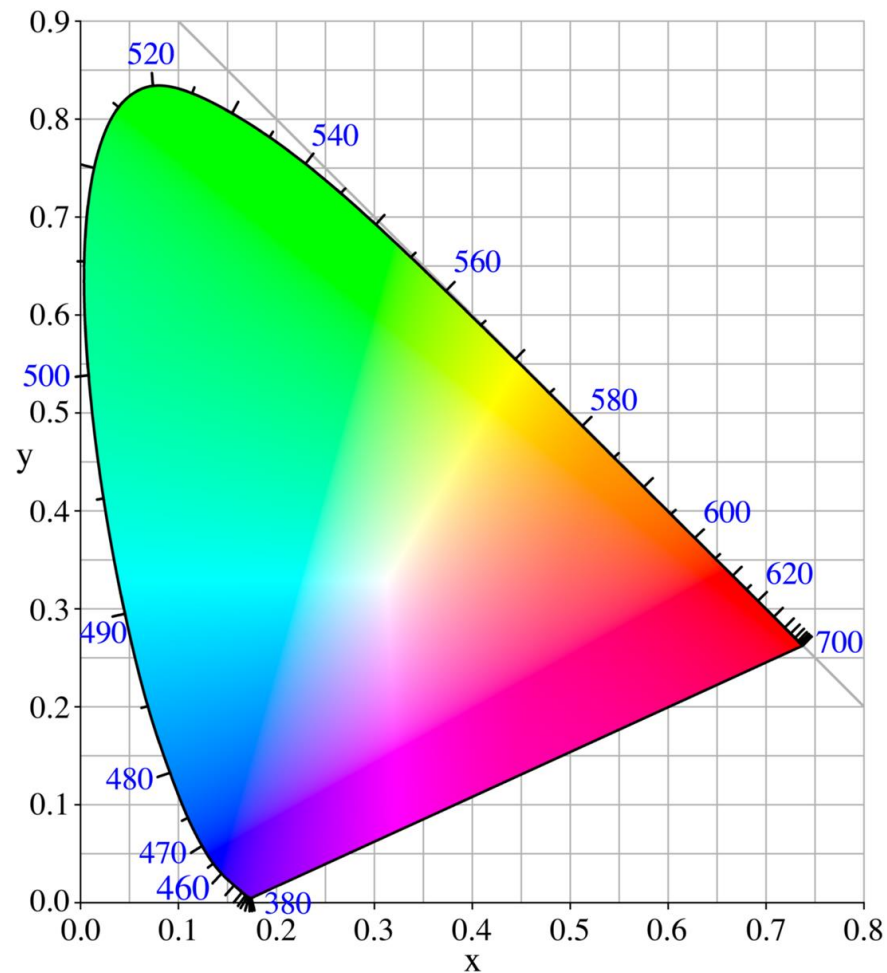


Определения

- **Яркость (светлота)** – определяется энергией, интенсивностью светового излучения
- **Цветовой тон** – преобладающая длина волны в спектре излучения.
- **Насыщенность** – насколько цвет «чистый», т.е. неразбеленный.

График МКО

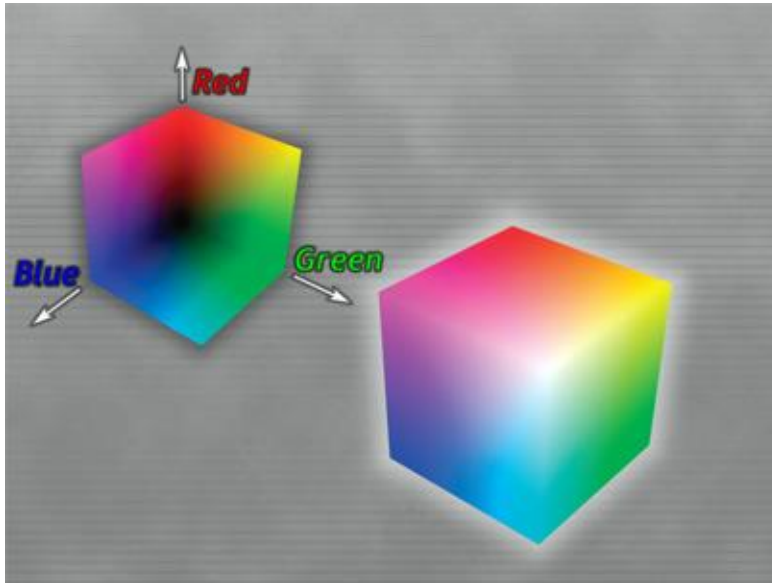
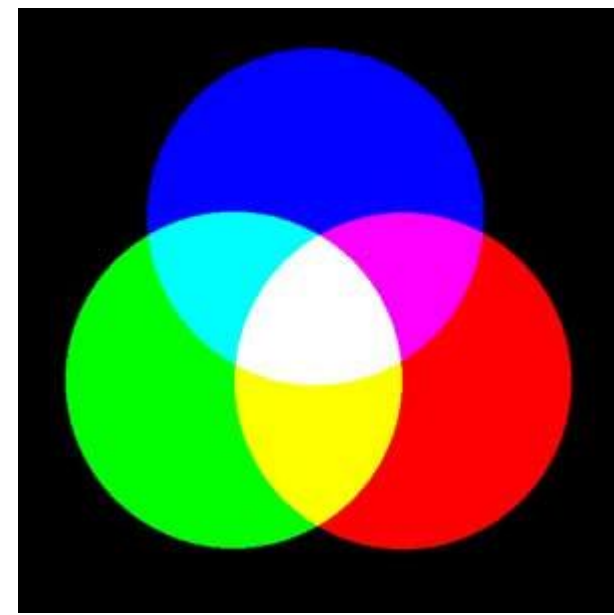
Международная Комиссия по Освещенности (Commission internationale de l'éclairage - CIE)



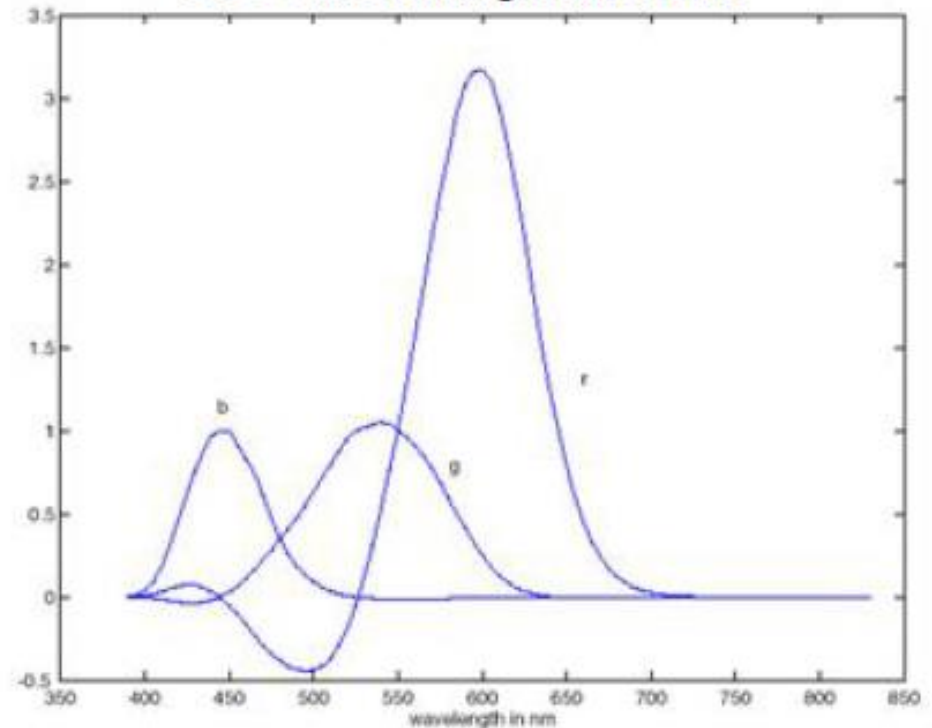
Аддитивная модель RGB

Томас Юнг (1773-1829)

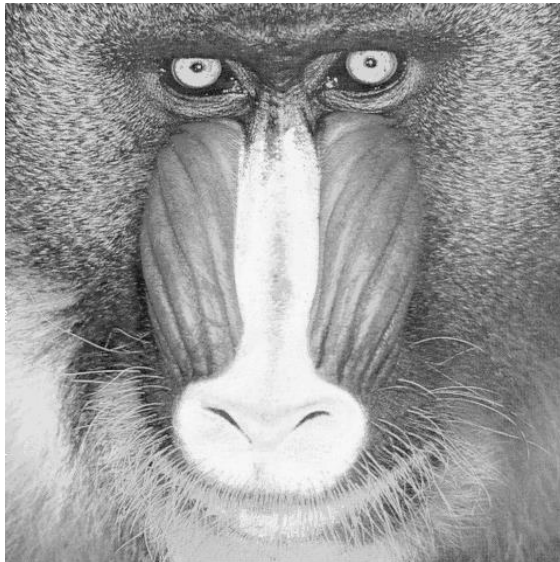
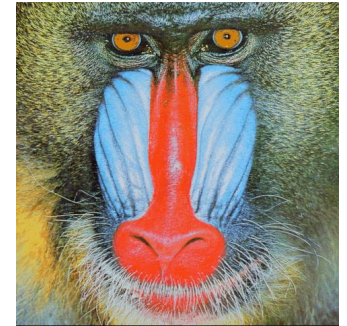
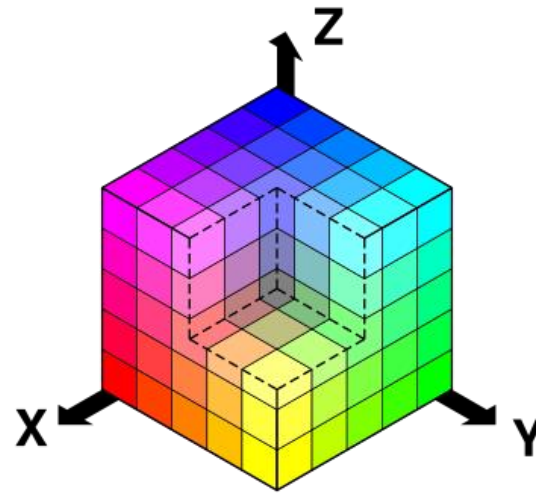
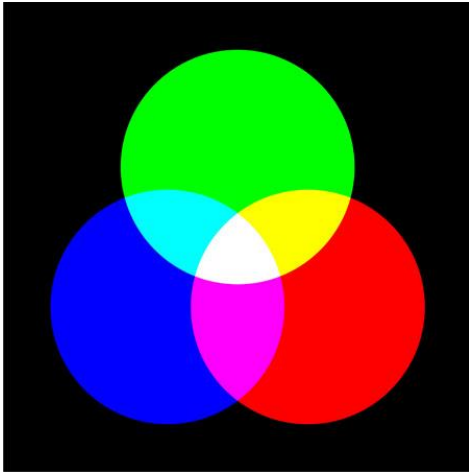
- Красный (Red)
- Зеленый (Green)
- Синий (Blue)



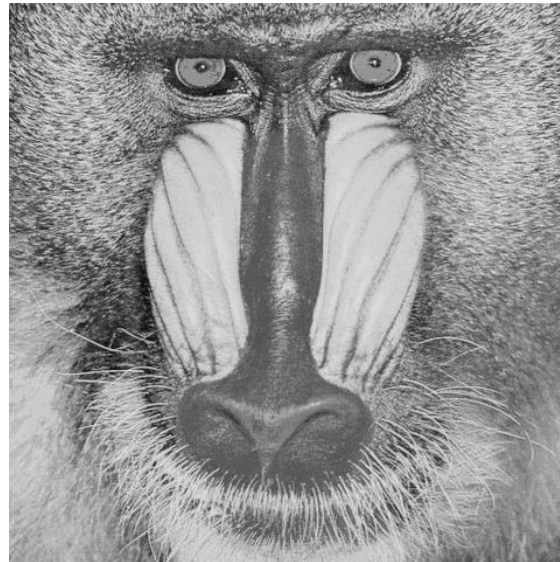
RGB matching functions



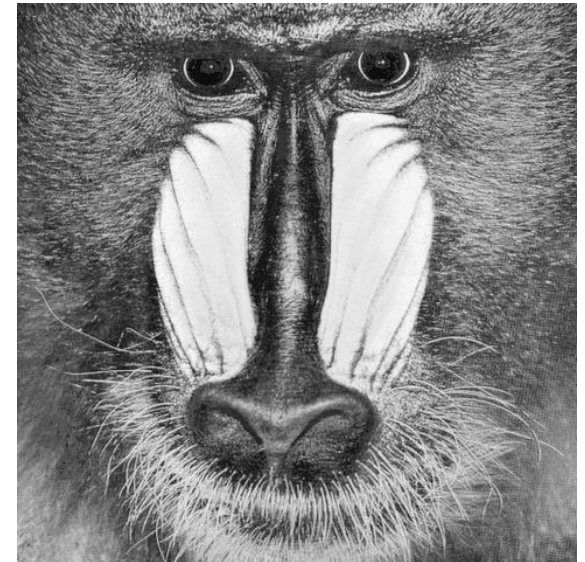
Цветовая модель RGB



red



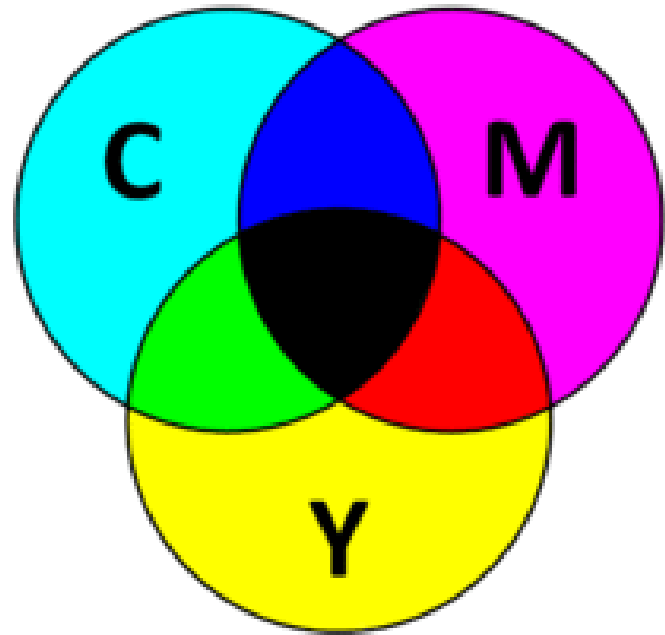
green



blue

СМУ и СМУК

- Голубой (Cyan)
- Пурпурный (Magenta)
- Желтый (Yellow)
- Черный (black)



СМУ – субтрактивная модель

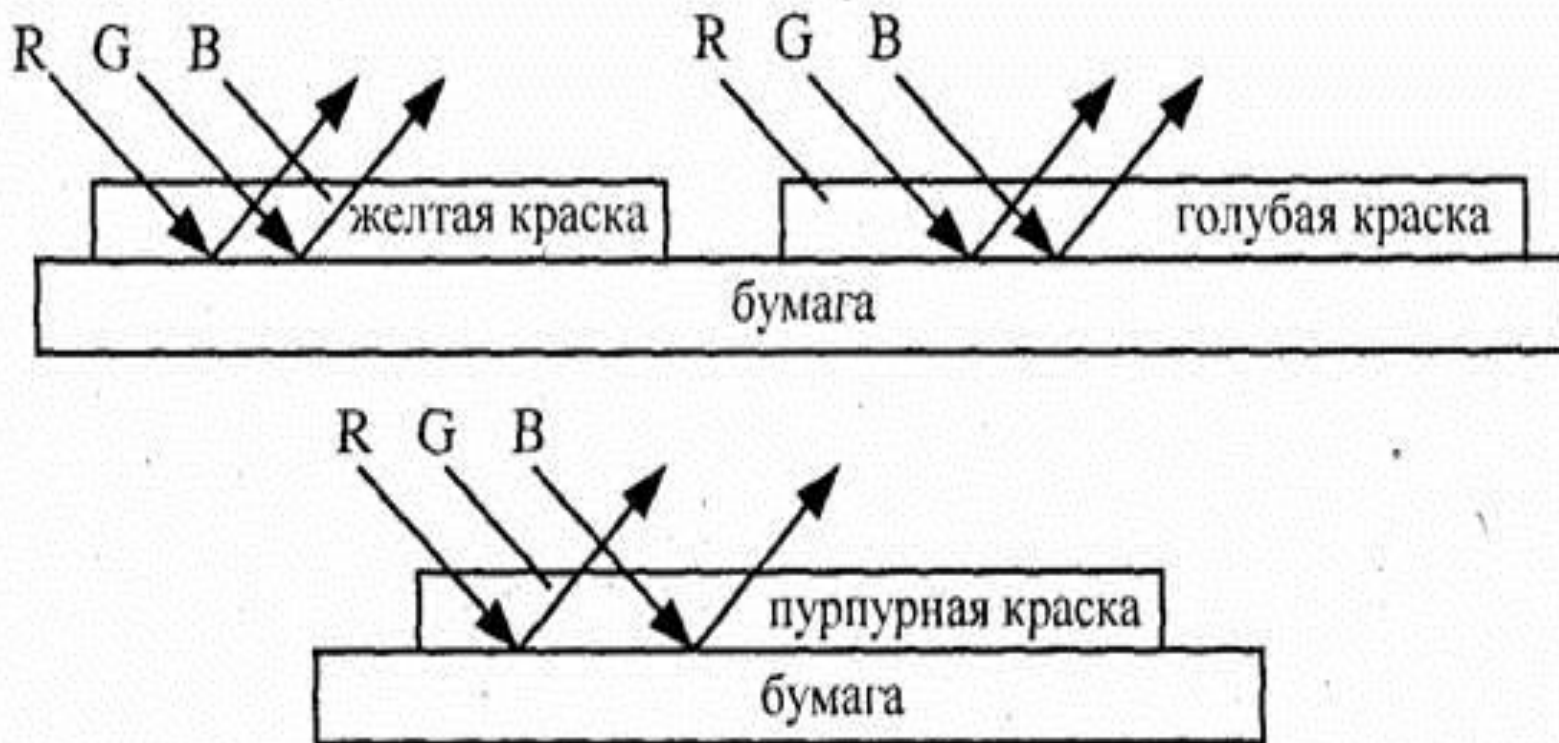


Рис. 1.28. Поглощение (вычитание) цветов

СМУ – субтрактивная модель

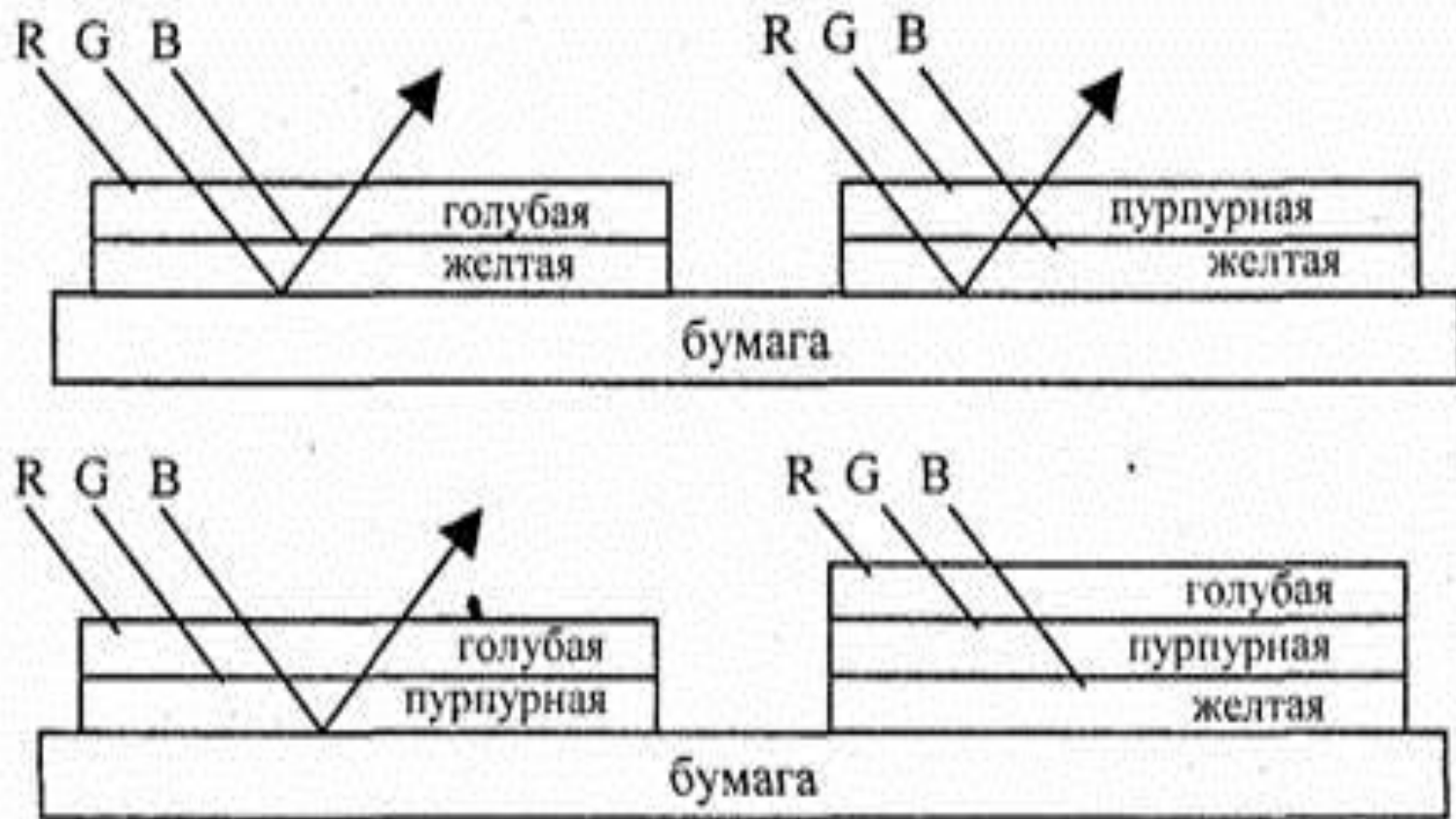
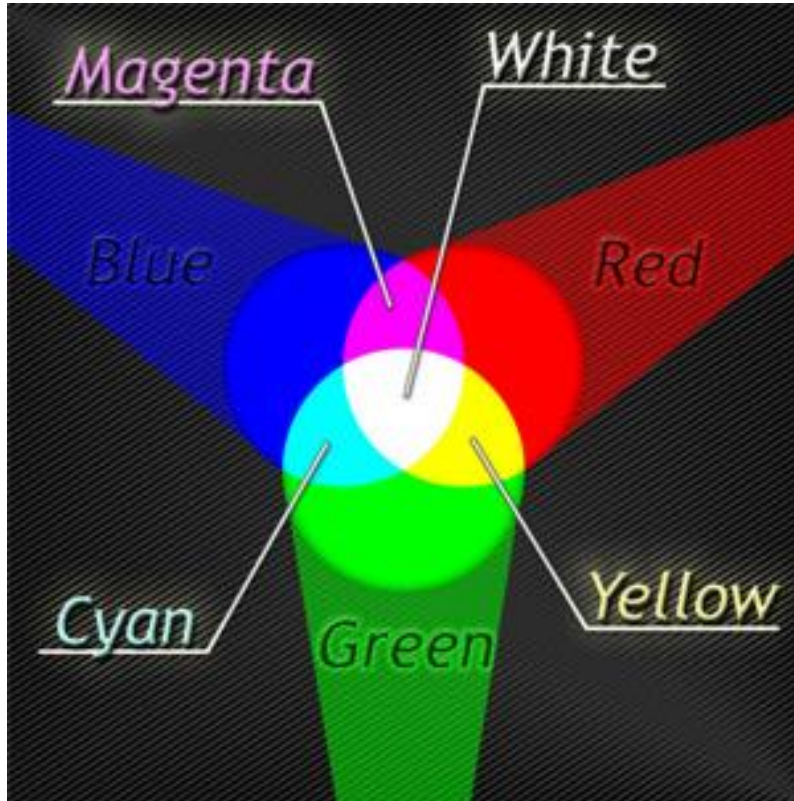
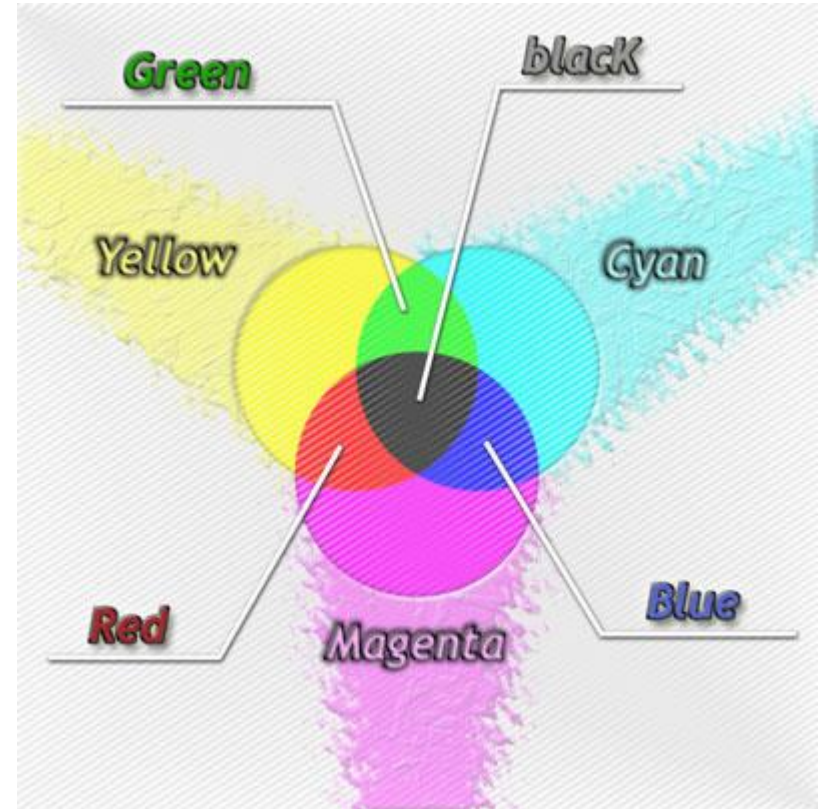


Рис. 1.29. Субтрактивность для двух и трех красок

RGB



CMY



Соотношение цветковых моделей RGB и CMY

Соотношение для перекодирования цвета из модели CMY в RGB:

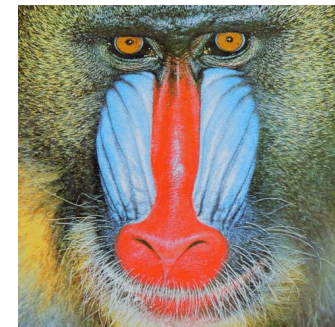
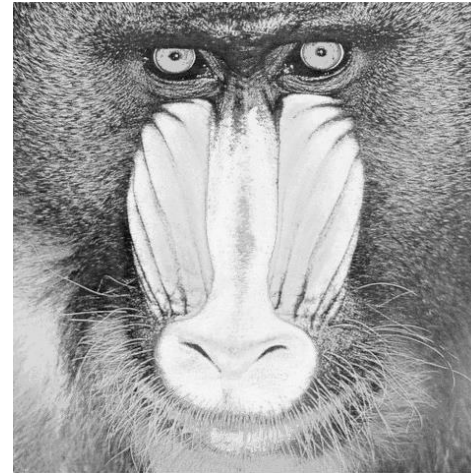
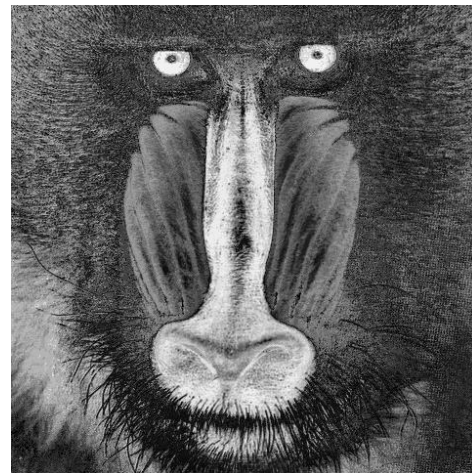
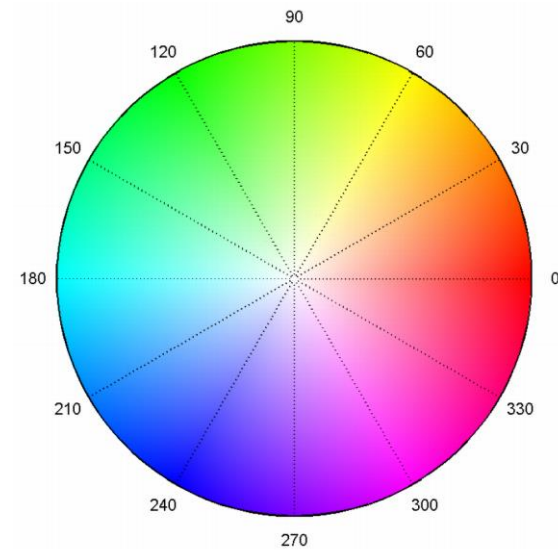
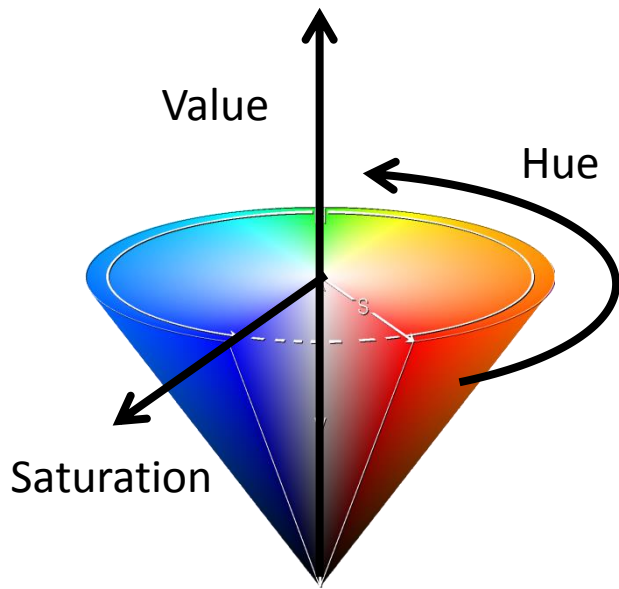
$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix}.$$

И обратно — из модели RGB в CMY:

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

HSV – Сопласуецца с нашым воспріяціем

цвета чловеком



Hue
(цветовой тон)

Saturation
(насыщенность)

Value
(интенсивность)

HSV conversion

HSV2RGB:

```
if (S == 0)
    return <V, V, V>;
else
{
    H = H / 60.0;
    n = (int)H;
    frac = H - n;
    c1 = V * (1.0 - S);
    c2 = V * (1.0 - S * frac);
    c3 = V * (1.0 - S * (1.0 - frac));
    if (n == 0)
        return <V, c3, c1>;
    if (n == 1)
        return <c2, V, c1>;
    if (n == 2)
        return <c1, V, c3>;
    if (n == 3)
        return <c1, c2, V>;
    if (n == 4)
        return <c3, c1, V>;
    if (n == 5)
        return <V, c1, c2>;
}
```

RGB2HSV

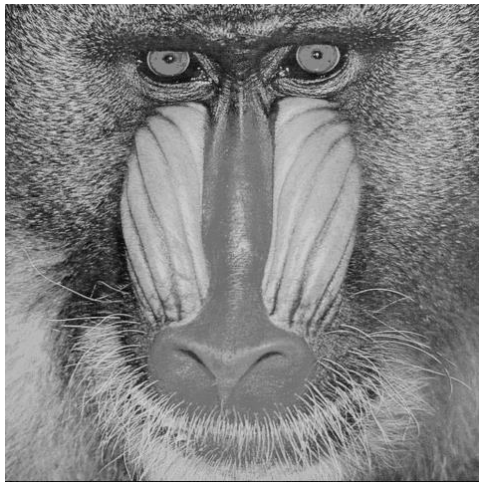
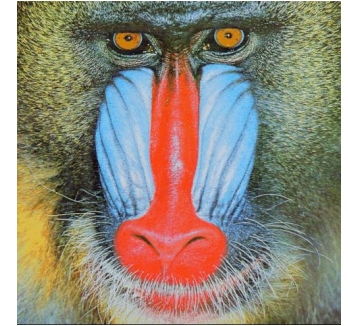
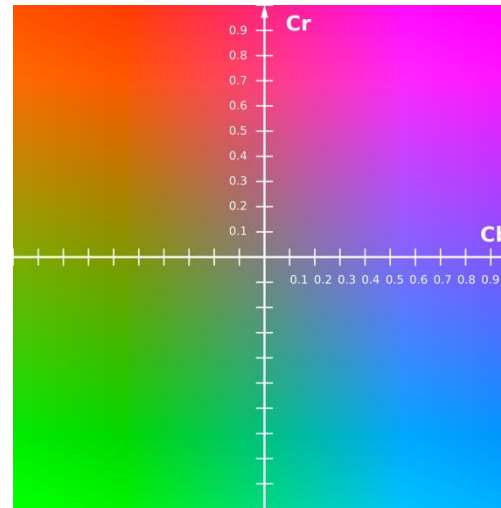
```
maxc = max(R, G, B);
minc = min(R, G, B);
delta = maxc - minc;

S = 0;
if (maxc > 0)
    S = delta / maxc;
V = maxc;
if (S == 0)
    H = 0; /* неопределено */
else
{
    rc = (maxc - R) / delta;
    gc = (maxc - G) / delta;
    bc = (maxc - B) / delta;
    if (R == maxc)
        H = bc - gc; /* Y-M */
    else if (G == maxc)
        H = 2 + rc - bc; /* C-Y */
    else
        H = 4 + gc - rc; /* M-C */
    H = H * 60.0;
}
```

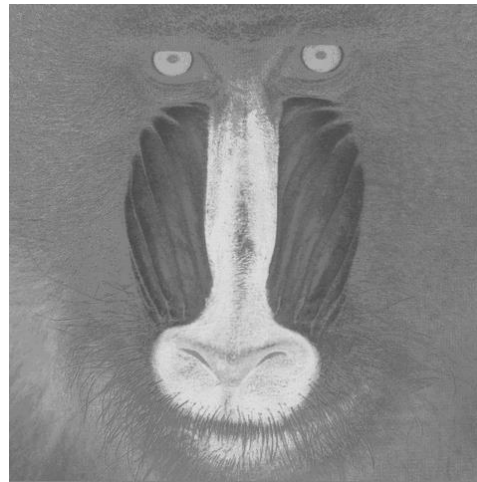
YCrCb - телевидение

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \\ 0.1687 & -0.3313 & 0.5 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix}$$

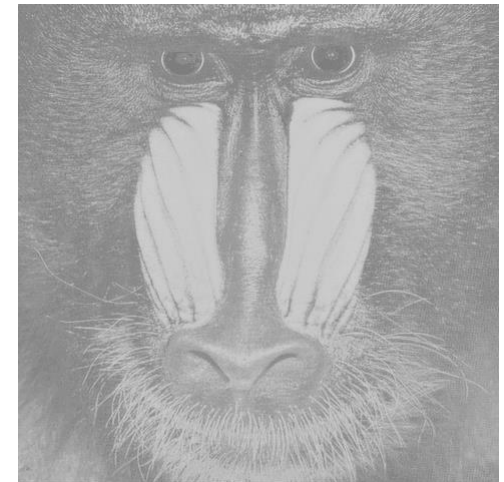
$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} Y \\ Cb - 128 \\ Cr - 128 \end{pmatrix}$$



Y (яркость)



Cr (цветоразностная компонента)



Cb (цветоразностная компонента)

Цветовая модель CIE XYZ

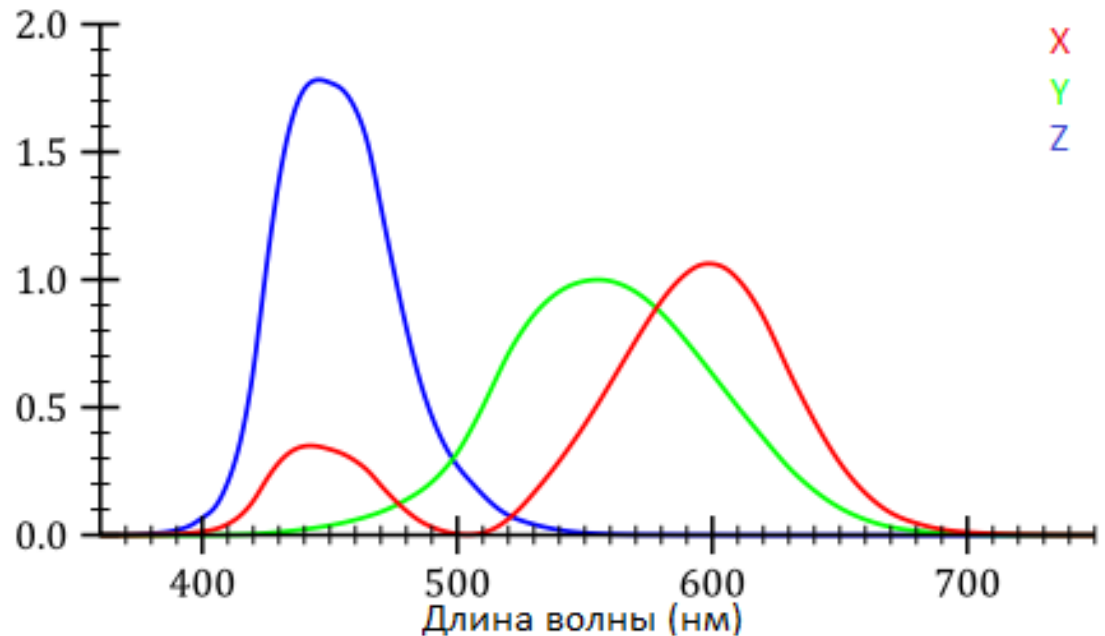
- С целью унификации была разработана международная стандартная цветовая модель. В результате серии экспериментов международная комиссия по освещению (CIE) определила кривые сложения основных (красного, зелёного и синего) цветов.
- В этой системе каждому видимому цвету соответствует определённое соотношение основных цветов. При этом, для того, чтобы разработанная модель могла отражать **все видимые человеком цвета** пришлось ввести отрицательное количество базовых цветов.
- Чтобы уйти от отрицательных значений CIE, ввела т.н. нереальные или **мнимые основные цвета**: X (мнимый красный), Y (мнимый зелёный), Z (мнимый синий).

Цветовая модель CIE XYZ

В стандарте представления цвета CIE XYZ определяются три базисные функции $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, зависящие от длины волны, и, на их основе, перенасыщенные цвета X, Y, Z:

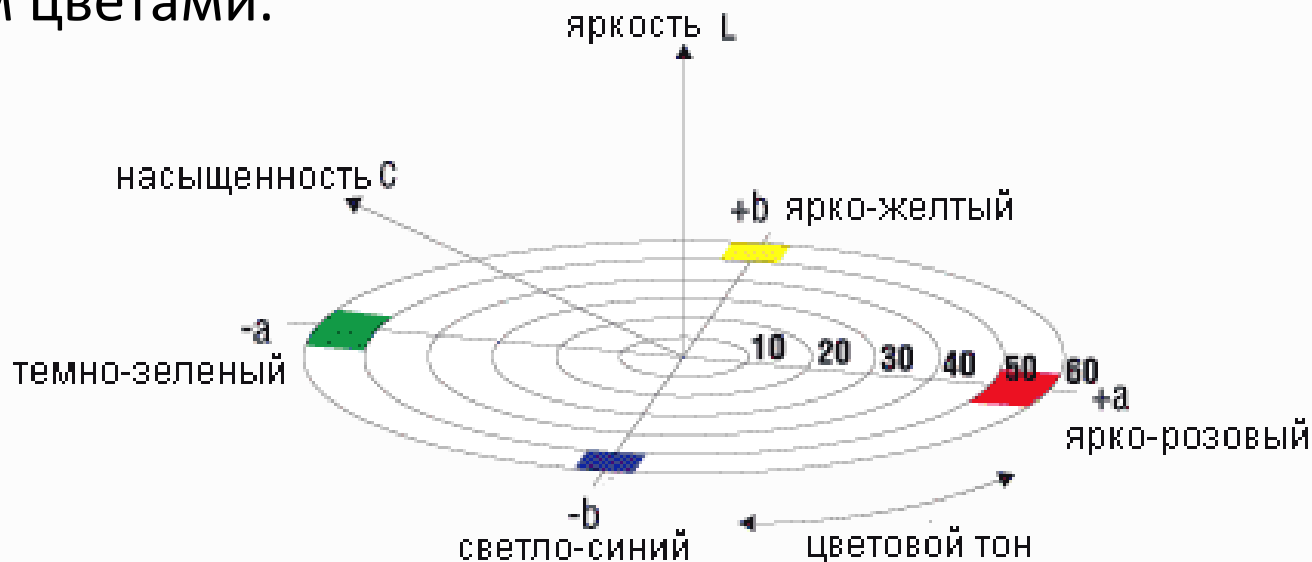
$$X = k \cdot \int I(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda; \quad Y = k \cdot \int I(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda; \quad Z = k \cdot \int I(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Перенасыщенные цвета не соответствуют никаким реальным, но все реальные могут быть представлены их комбинациями с положительными коэффициентами.



Цветовая модель CIE Lab

- Основной целью при разработке CIE Lab было устранение нелинейности системы CIE XYZ с точки зрения человеческого восприятия. Под аббревиатурой LAB обычно понимается цветовое пространство CIE $L^*a^*b^*$, которое на данный момент является международным стандартом.
- L означает светлоту (в диапазоне от 0 до 100),
- a, b – означают позицию между зелёным-пурпурным, и синим-жёлтым цветами.



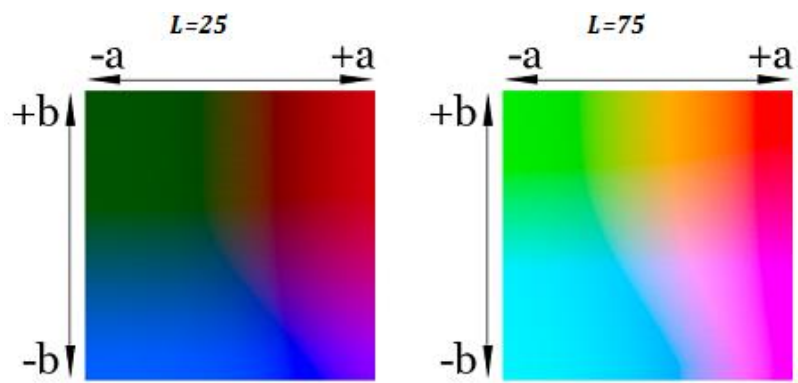
- Формулы для перевода координат из CIE XYZ в CIE L*a*b*:

$$\begin{cases} L^* = 116 * f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a^* = 500 * \left(f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right) \\ b^* = 200 * \left(f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right) \end{cases}$$

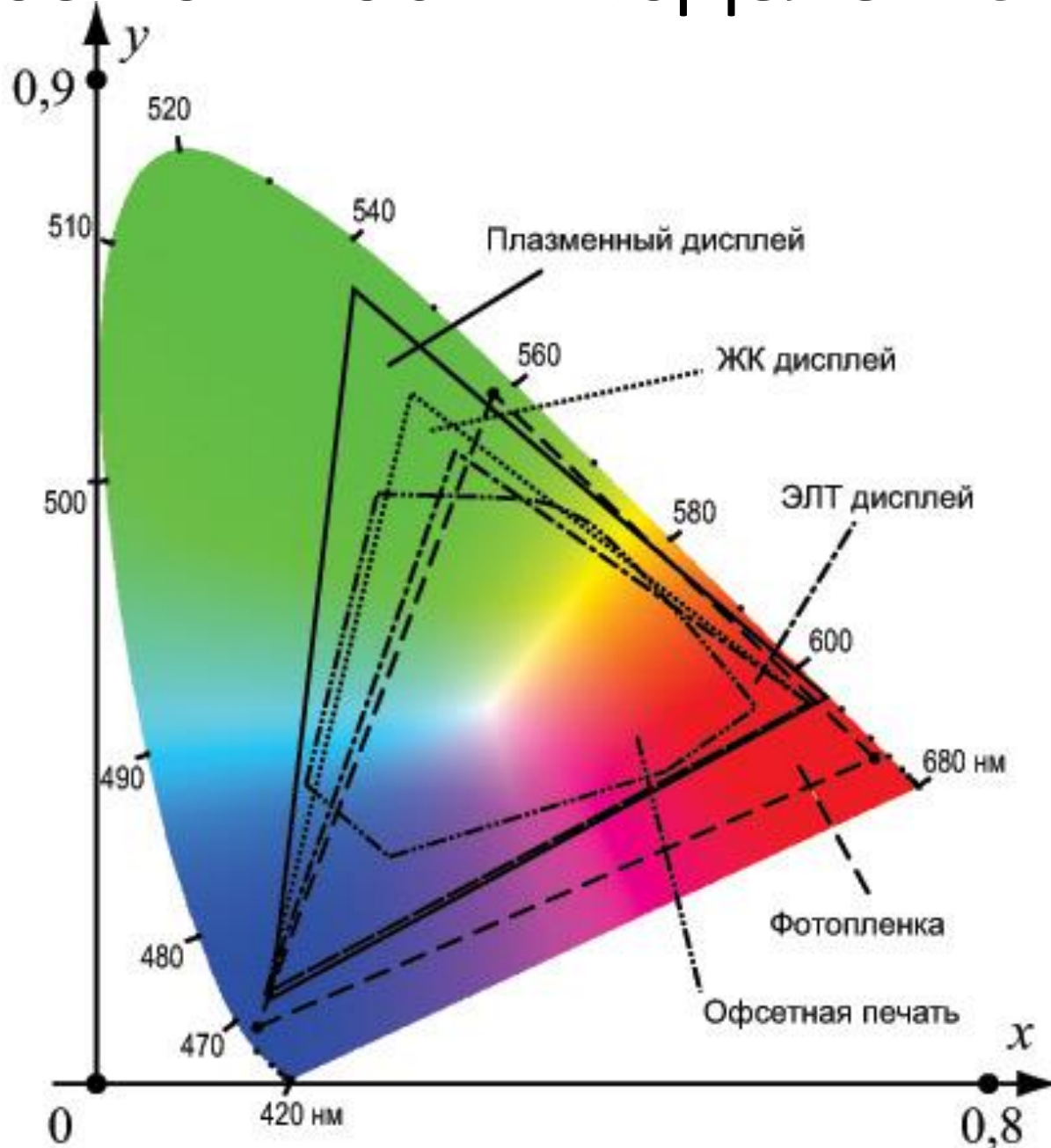
где (Xn, Yn, Zn) – координаты точки белого в пространстве CIE XYZ, а

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt[3]{x} \\ \frac{1}{3} * \left(\frac{29}{6}\right)^2 * x + \frac{4}{29} \end{cases}$$

- На Рис. представлены срезы цветового тела CIE L*a*b* для двух значений светлоты:



Возможности моделей СИЕ



Классификация цветных моделей

аппаратно-зависимые	RGB	Психологические модели HSB HSV HSL	CMYK	Относительные
	xyZ	xyY(модель МКО "локус")		
Аппаратно-независимые	L*a*b	L*u*v	равноконтрастные модели	Абсолютные
	L*c*h			

Изображения с индексированной
палитрой

Изображения с индексированной палитрой

На практике изображения часто содержат не все воспринимаемые глазом цвета, а лишь небольшое их подмножество. Например, плакаты обычно раскрашены не более чем десятью цветами.

Представим себе некоторую картинку. Разделим все различимые на ней цвета на несколько классов. Например, близкие цвета можно отнести к одному и тому же классу, а существенно различные — к разным. Совокупность всех таких классов образует палитру цветов данной картинки. Элементы палитры (классы цветов) можно пронумеровать или, иначе говоря, проиндексировать.

Далее, составим таблицу, в которой каждому индексу сопоставим цвет из палитры (например, RGB-код). Тогда **описание картинки должно содержать эту таблицу и последовательность индексов, соответствующих каждой точке картинки.**

Если элементов палитры меньше, чем исходных цветов, то при таком описании происходит потеря исходной графической информации. Если элементов палитры столько же, сколько исходных цветов, то описание точно передает исходную графическую информацию.

Изображения с индексированной палитрой

Код цвета	R	G	B	Название цвета
0	0	0	0	Черный
1	128	0	0	Темно-красный
2	0	128	0	Зеленый
3	128	128	0	Коричнево-зеленый
4	0	0	128	Темно-синий
5	128	0	128	Темно-пурпурный
6	0	128	128	Сине-зеленый
7	128	128	128	Серый 50%
8	192	192	192	Серый 25%
9	255	0	0	Красный

Полутоновые изображения

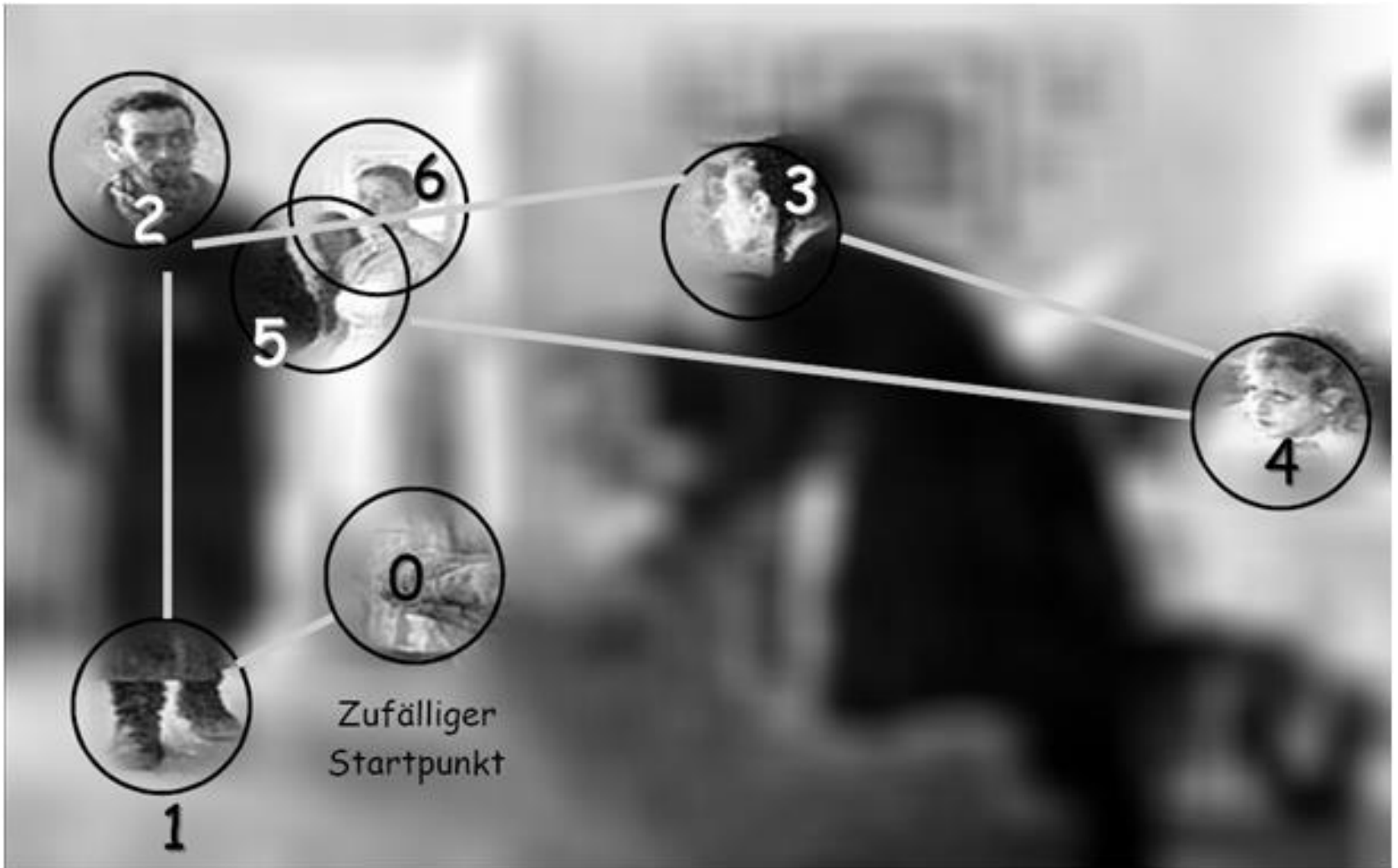
$$r_i = g_i = b_i$$

Каждая градация определяется яркостью Y :

$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$



Что на самом деле мы видим?



Движения глаз



Free examination.

1



Estimate material circumstances of the family

2



Give the ages of the people.

3



Surmise what the family had been doing before the arrival of the unexpected visitor.

4



Remember the clothes worn by the people.

5



Remember positions of people and objects in the room.

6



Estimate how long the visitor had been away from the family.

7

3 min. recordings of the same subject