

Компьютерная графика

Лекция 3

Цветовые модели

15 сентября 2008 года

В лекции используются иллюстрации из книги :

John C. Russ

“Image Processing. Handbook”



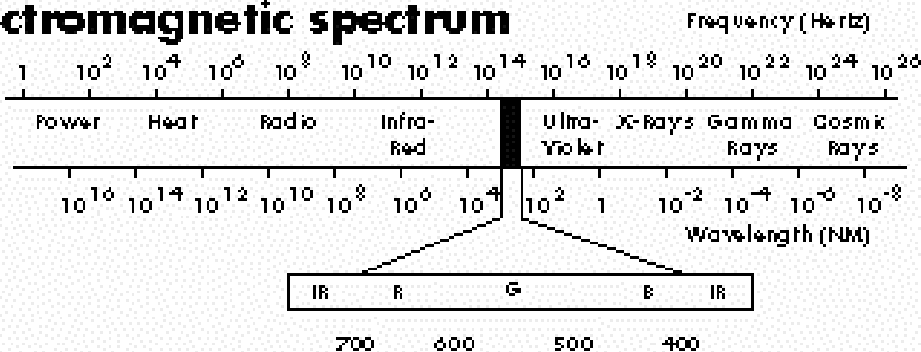
Свет и Цвет

- Физика и психофизика цвета
- Восприятие цвета
- Цветовые системы
 - RGB
 - CMY
 - HSI
 - YIQ (YUV)

Свет – электромагнитное излучение

Spectrum

The electromagnetic spectrum



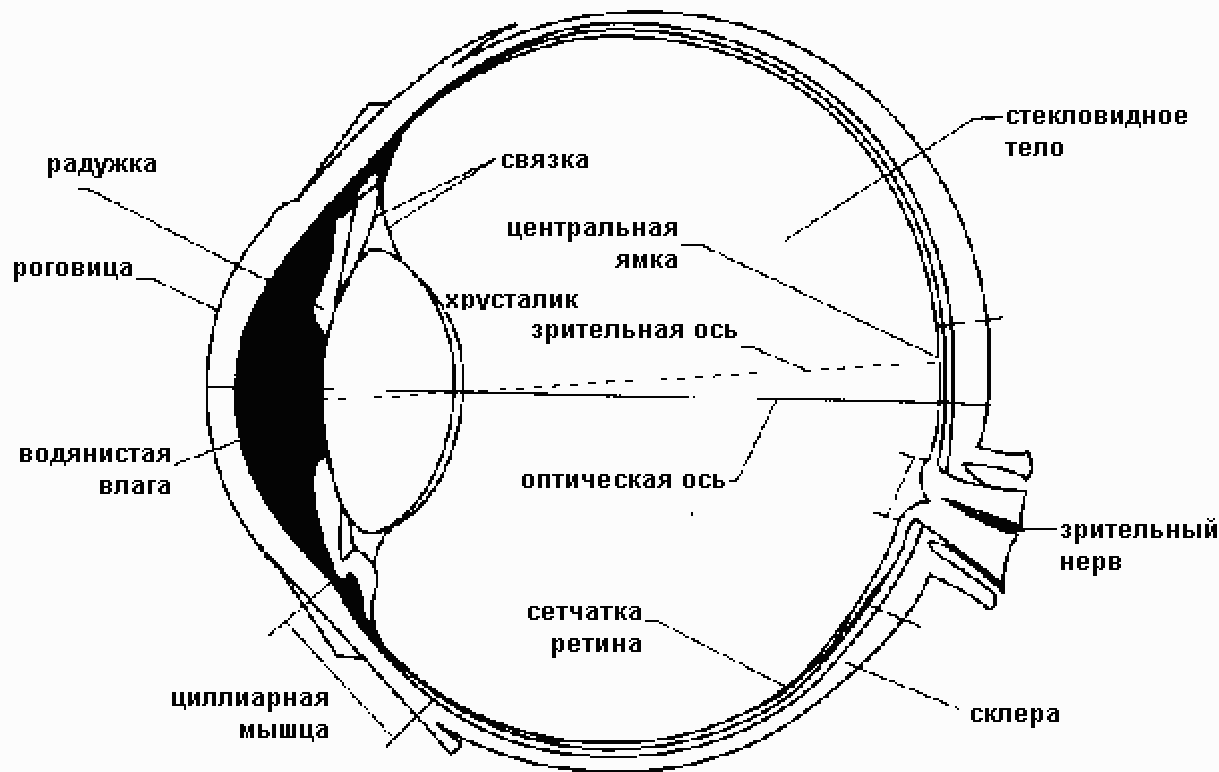
Видимый свет состоит из спектрального распределения электромагнитной энергии с длинами волн в диапазоне 400--700 нм. Цвет излучений, длины волн которых расположены в диапазоне видимого света в определенных интервалах вокруг длины какого-либо монохроматического излучения, называются спектральными цветами.



Цвет – зрительное ощущение

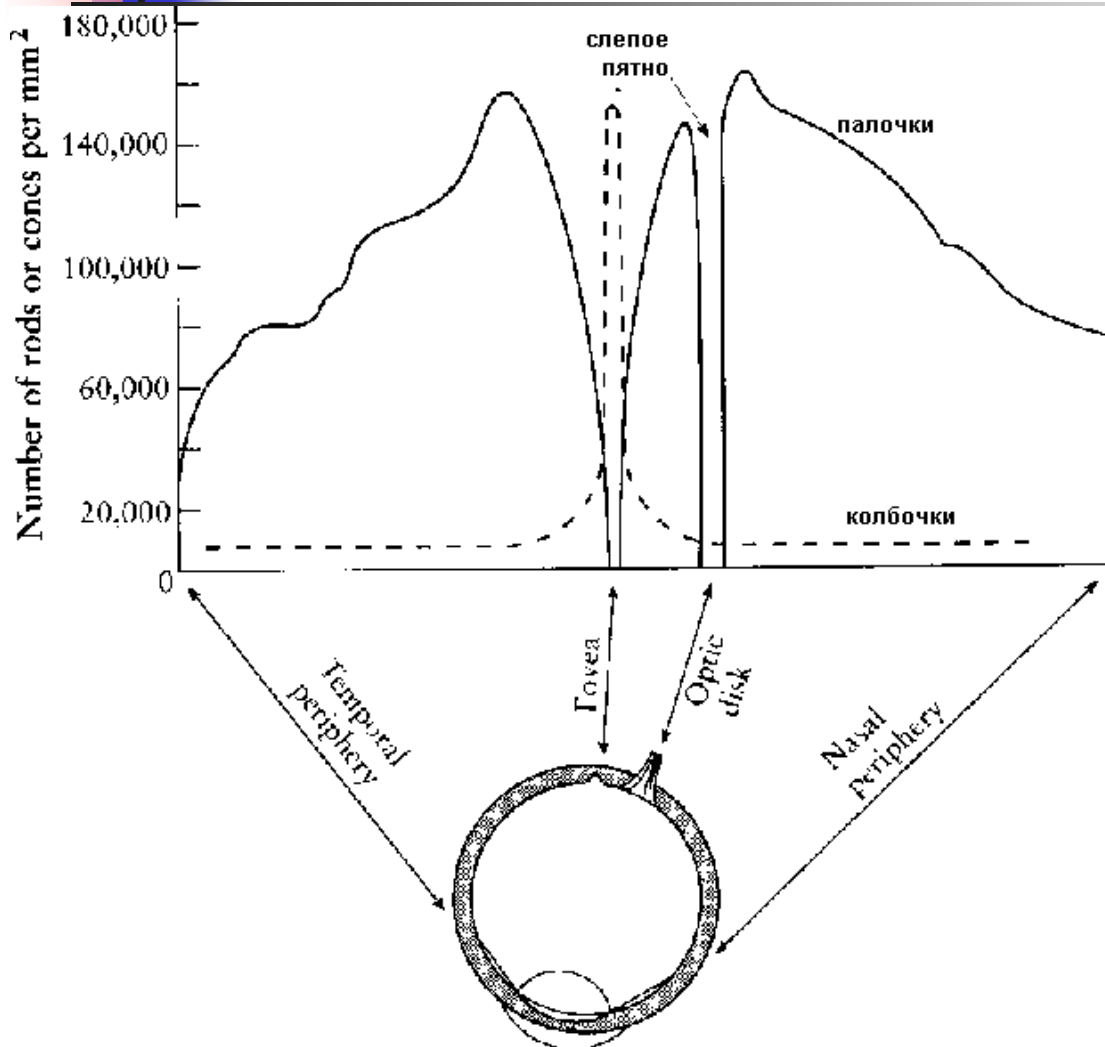
Цвет, одно из свойств материальных объектов, воспринимаемое как осознанное зрительное ощущение. Тот или иной цвет «присваивается» человеком объекту в процессе зрительного восприятия этого объекта. В громадном большинстве случаев цветовое ощущение возникает в результате воздействия на глаз потоков *видимого излучения* (воспринимаемого глазом эл.-магн. излучения с длинами волн от 380 до 760 нм).

Визуальная система человека (структура и оптика глаза)



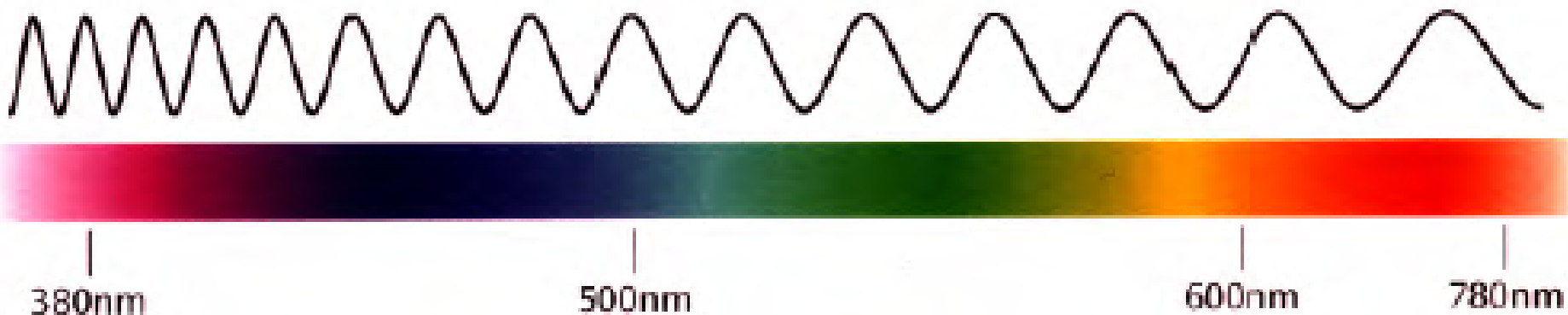
К наиболее важным структурным элементам на оптическом пути относятся: роговица, радужка, зрачок, хрусталик и сетчатка (ретина).

Колбочки и палочки



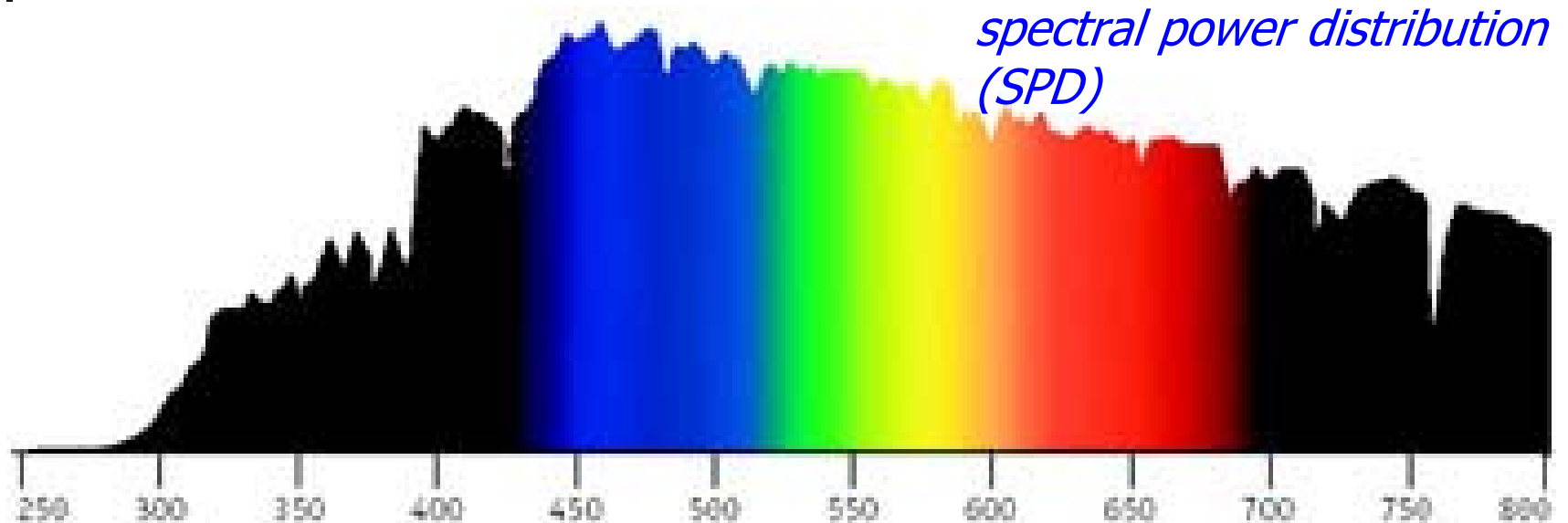
Система цветового зрения, включает два типа светочувствительных фоторецепторов: *колбочки*, сосредоточенные главным образом в центральной ямке и расположенные в основном по периферии сетчатки *палочки*, не обладающие преимущественной чувствительностью к какому-либо спектральному цвету и играющие главную роль в создании ахроматических зрительных образов.

Восприятие цвета



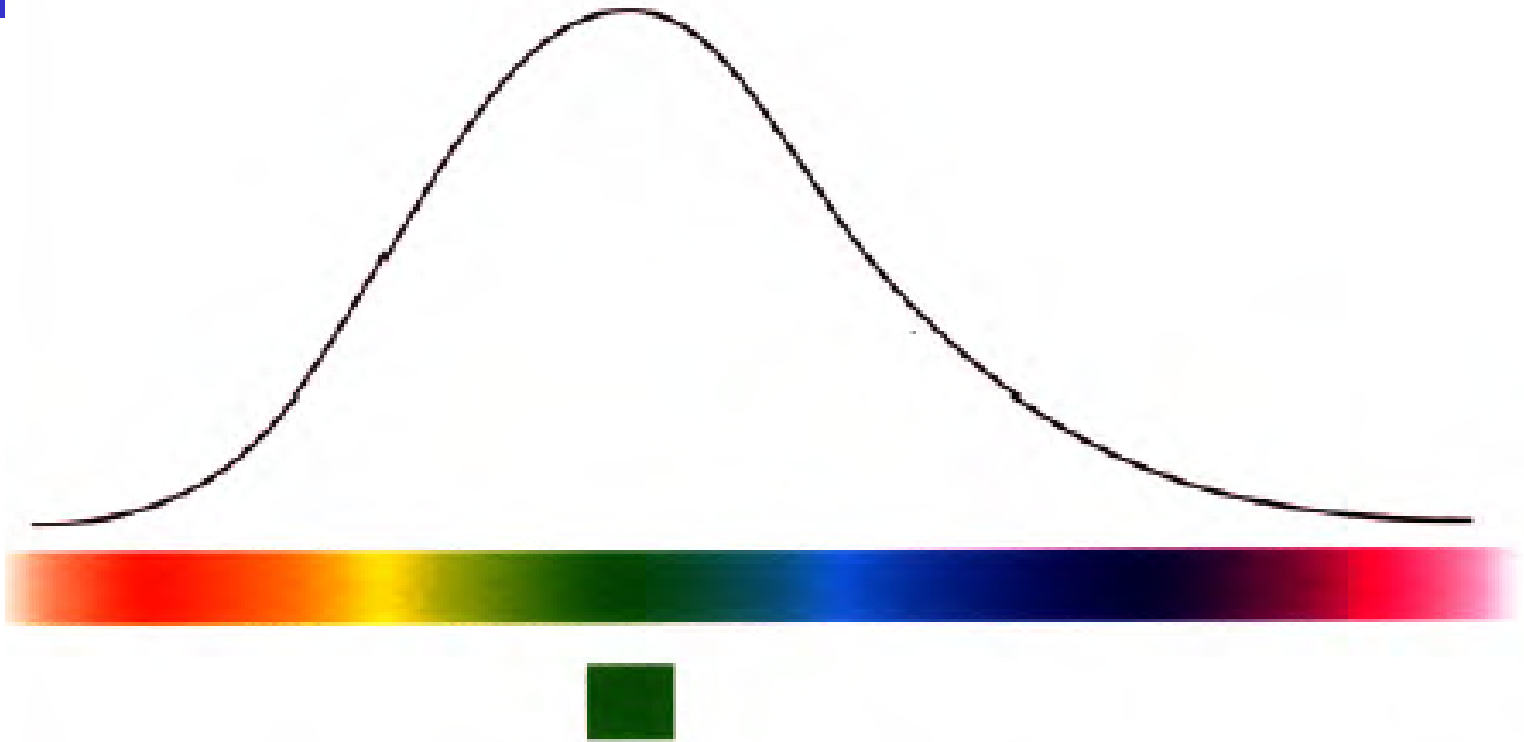
Излучения с длинами волн от 380 до 470 нм имеют фиолетовый и синий цвет, от 470 до 500 нм -- сине-зеленый, от 500 до 560 нм -- зеленый, от 560 до 590 нм -- желто-оранжевый, от 590 до 760 нм -- красный (в более мелких участках этих интервалов цвет излучений соответствует различным оттенкам указанных цветов).

Спектральное распределение энергии дневного света



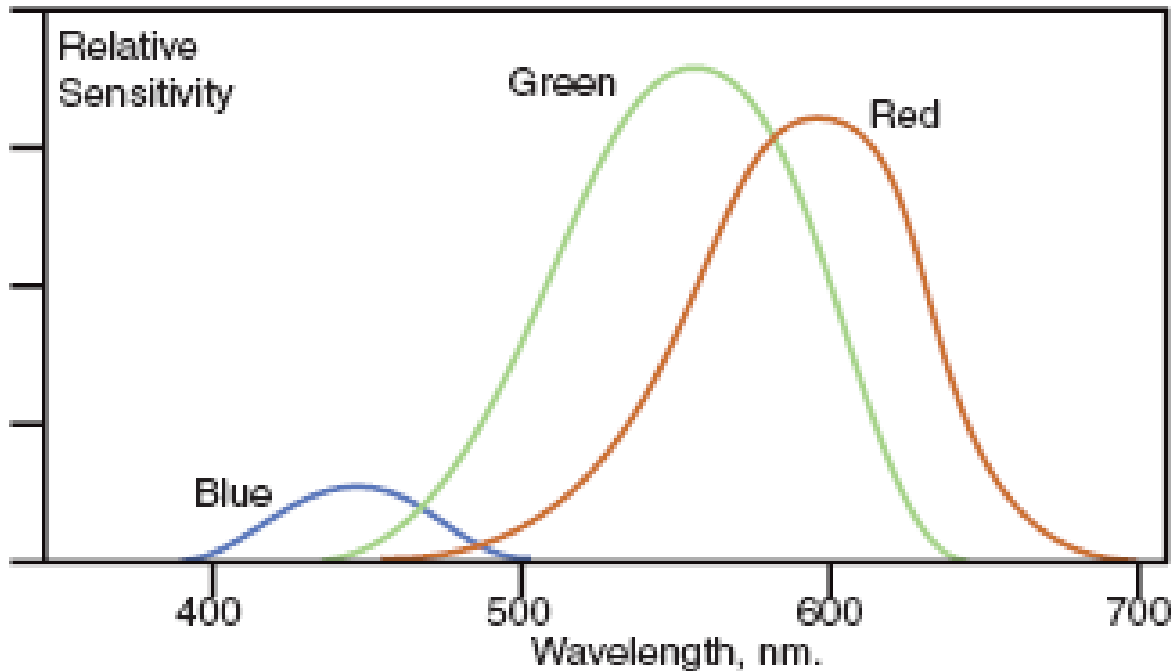
Видимый свет состоит из спектрального распределения электромагнитной энергии с длинами волн в диапазоне 400--700 нм. Цвет излучений, длины волн которых расположены в диапазоне видимого света в определенных интервалах вокруг длины какого-либо монохроматического излучения, называются спектральными цветами.

Чувствительность колбочек



Три типа колбочек называют либо как В, G и R, либо как S, М и L. Пики их чувствительности приходятся примерно на 420 нм, 534 нм и 564 нм (для "усредненного" наблюдателя). В каждом глазу 6 - 8 млн. колбочек и 100 - 120 млн. палочек (т.е. примерно 250 млн. рецепторов на два глаза). ⁹

Восприятие цвета



Термины "**красный**" и "**зеленый**" применительно к колбочкам весьма условны, поскольку пиковые значения 534 и 564 нм лежат в желтом диапазоне.

Чувствительность глаза к синему цвету существенно ниже, чем к зеленому и красному.

Восприятие цвета (HCV)

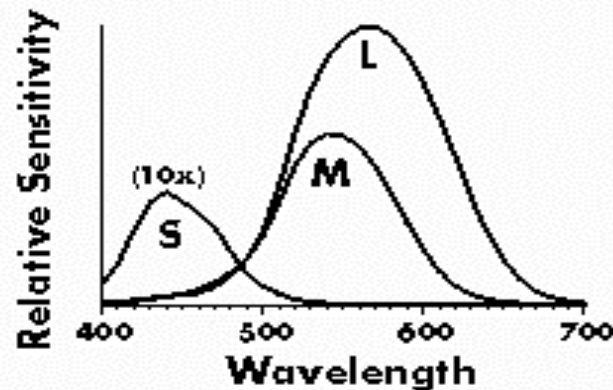
Human Color Vision

- There are 3 light sensitive pigments in your cones (L,M,S), each with a different *spectral response curve*

$$L = \int L(\lambda)E(\lambda)d\lambda$$

$$M = \int M(\lambda)E(\lambda)d\lambda$$

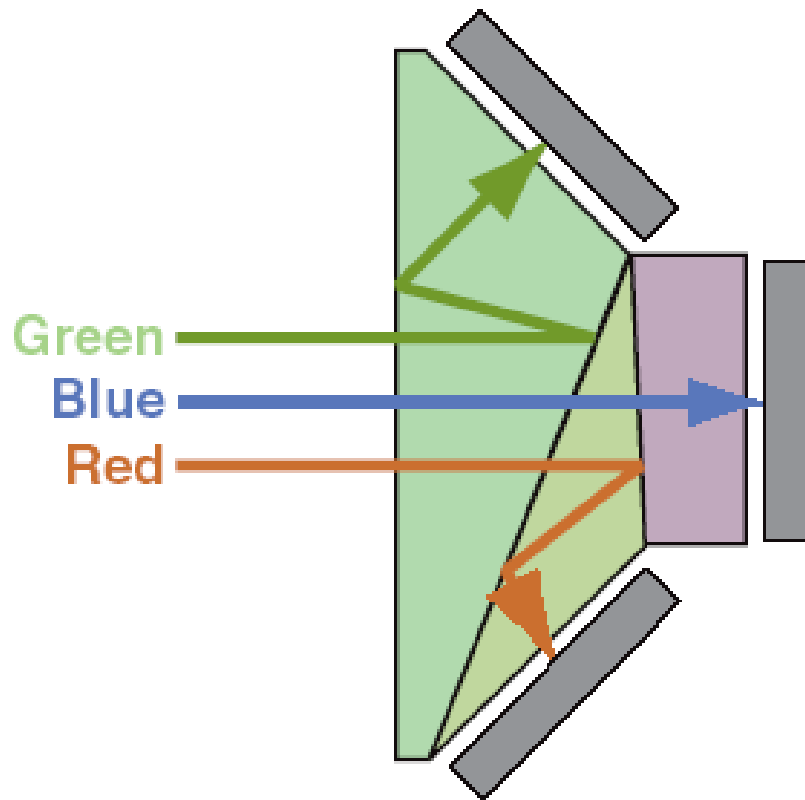
$$S = \int S(\lambda)E(\lambda)d\lambda$$



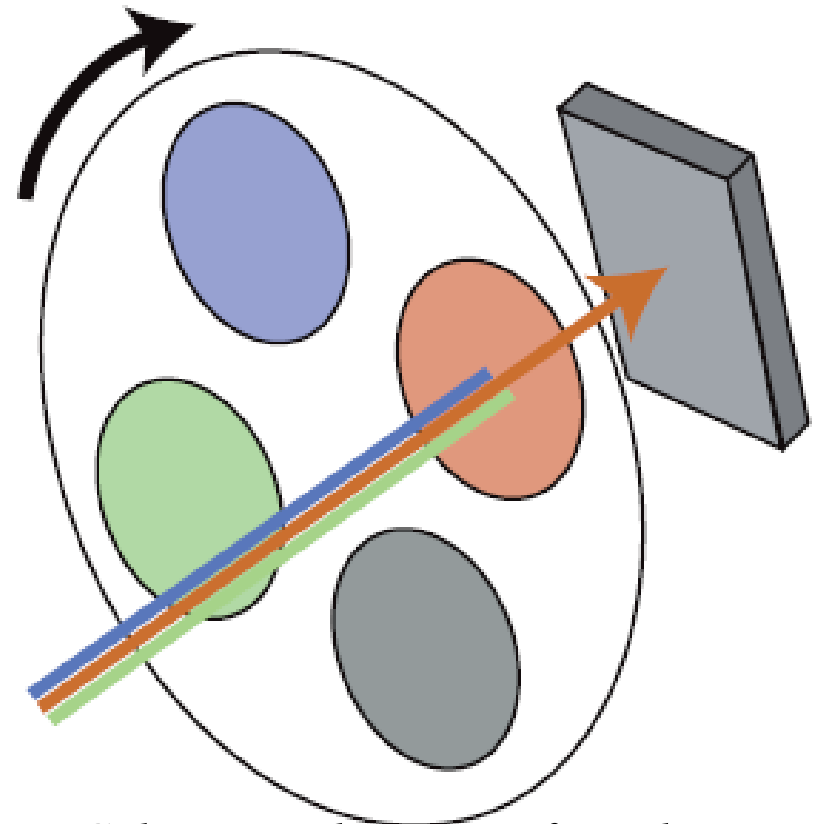
- Metamerism
- Biological basis of color blindness - genetic disease

Заметьте, что кривая, соответствующая синим колбочкам, изображена в масштабе $\times 10$.

Цифровой фотоаппарат

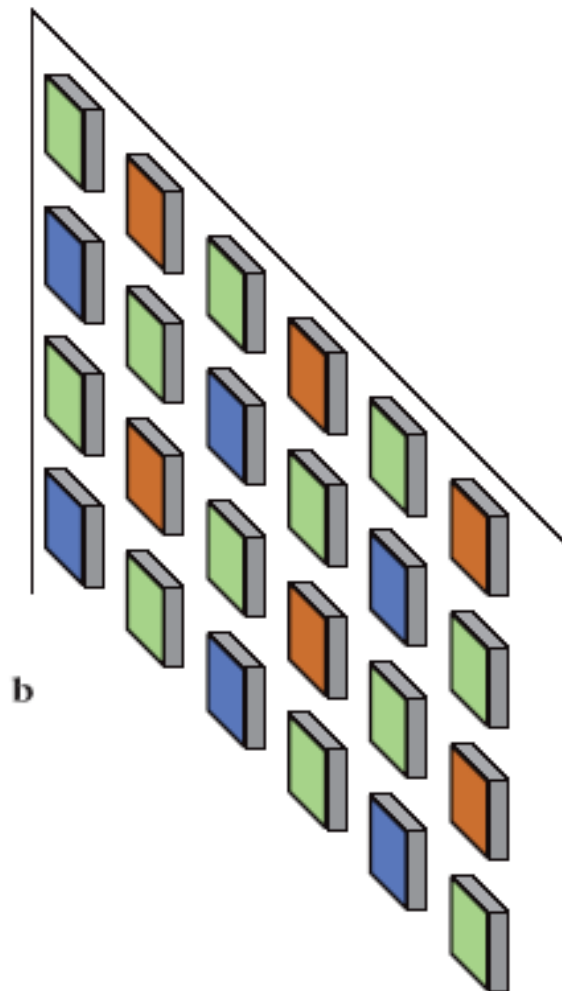
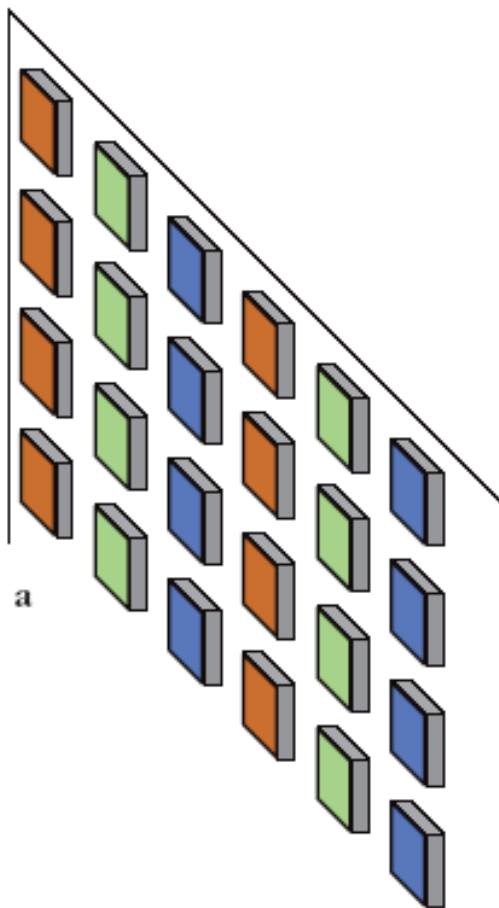


Schematic diagram of a three-chip color camera.



Schematic diagram of a color wheel camera.

Цифровой фотоаппарат



Stripe (a)

Bayer (b)

*filter patterns used in
single chip cameras.*

Мозаика

G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G



Устранение мозаичности

Demosaic(k)ing



Original image



Bilinear interpolation

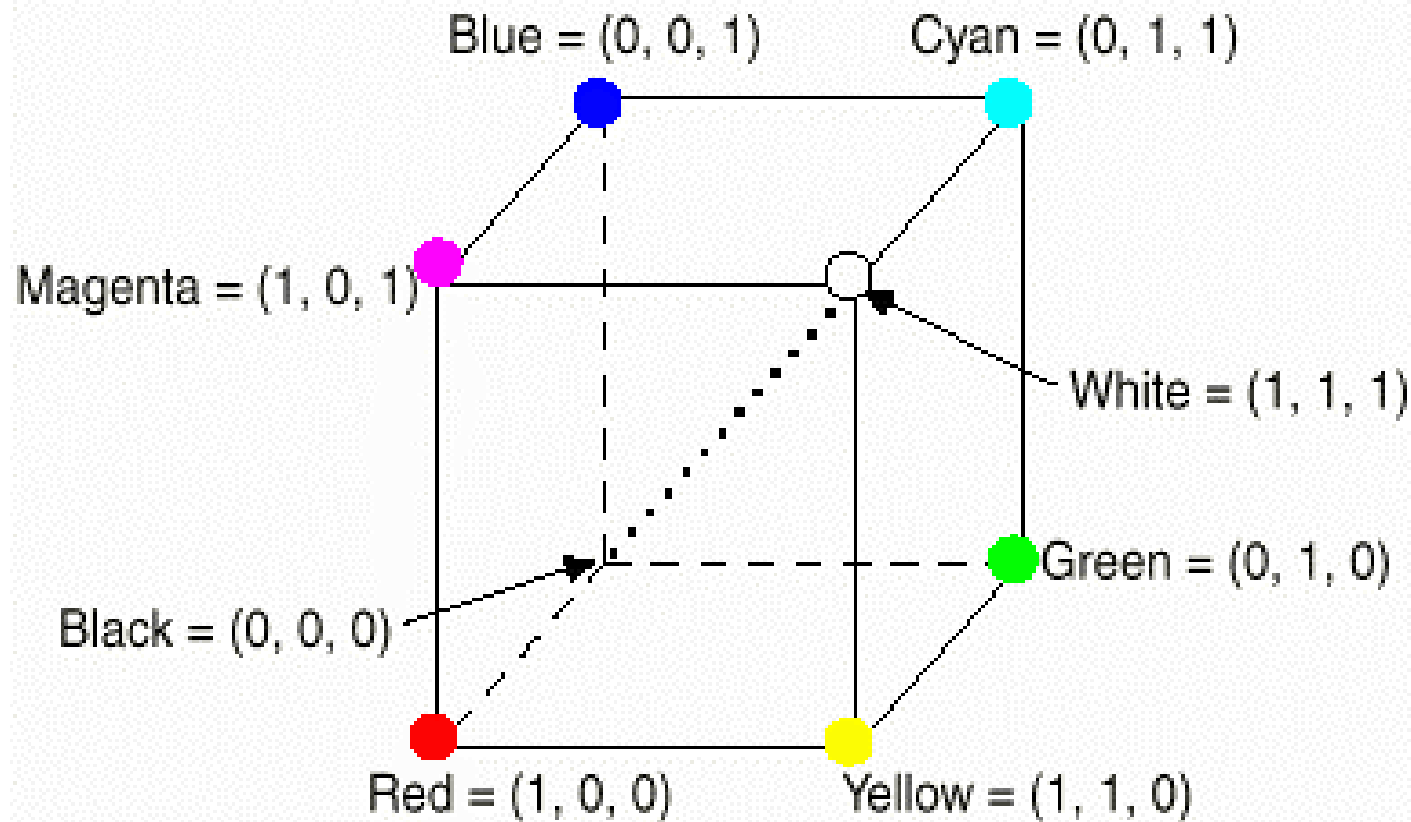


Proposed method

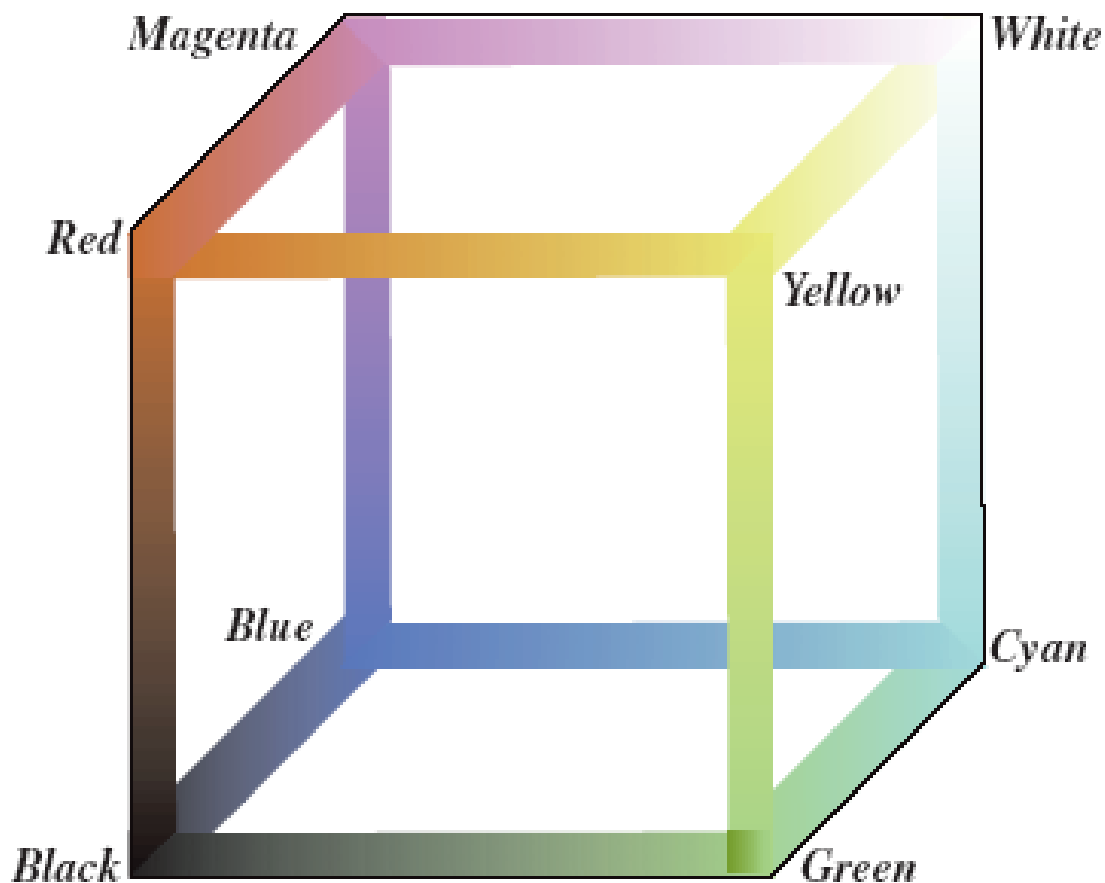
<http://graphics.cs.msu.su/en/publications/text/gc2004lk.pdf>

Аддитивная система (RGB)

Субтрактивная система (CMYK)



Цветовой куб



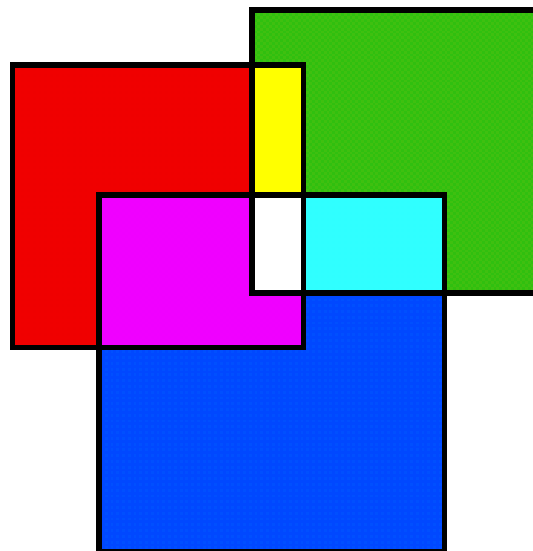
$$C = G + B = W - R$$

$$M = R + B = W - G$$

$$Y = R + G = W - B$$

Задание цветов

Setting Colors



Red+Green=Yellow
Green+Blue=Cyan
Red+Blue=Magenta
Red+Green+Blue=White

Known as “Additive Color”,
or “RGB”

```
glColor3f( r, g, b );
```



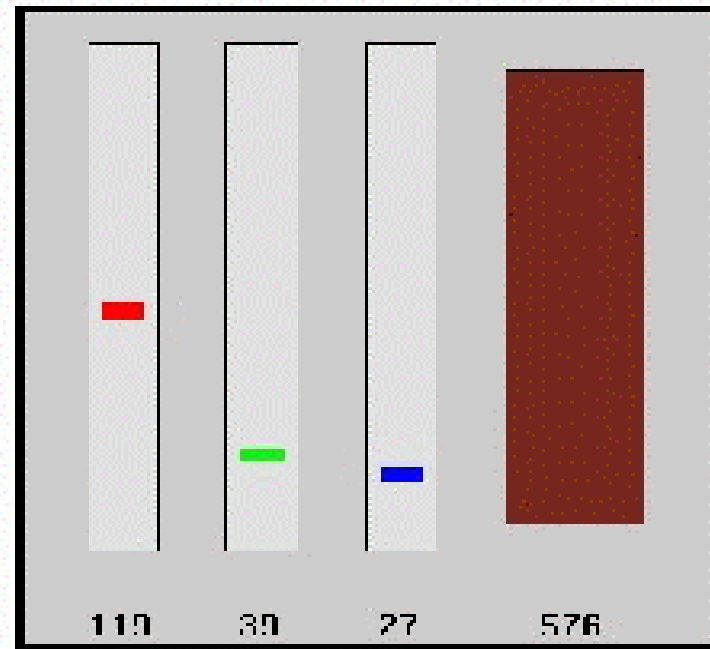
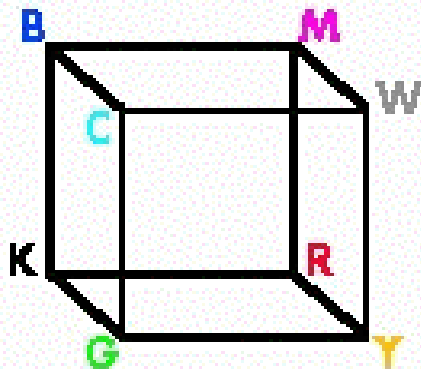
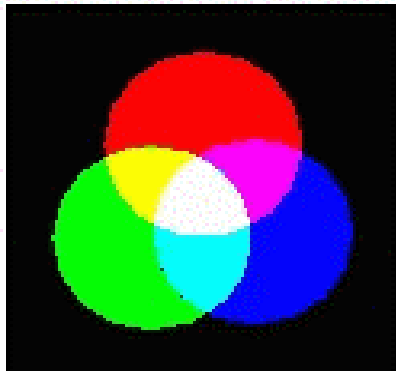
University of California, San Diego

SAN DIEGO SUPERCOMPUTER CENTER

SDSC

RGB (Red – Green – Blue)

Color Cube

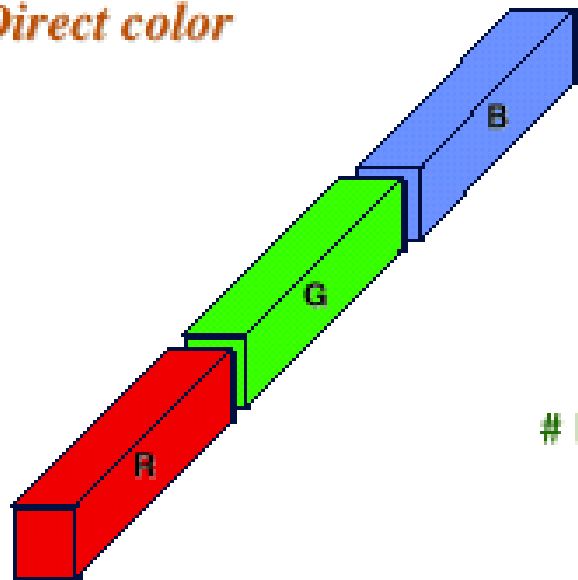


credit

Full Color

The Framebuffer

- Direct color*



Bits/pixel Total colors:

12	$2^{12} = 4K$
18	$2^{18} = 256K$
24	$2^{24} = 16.7M$

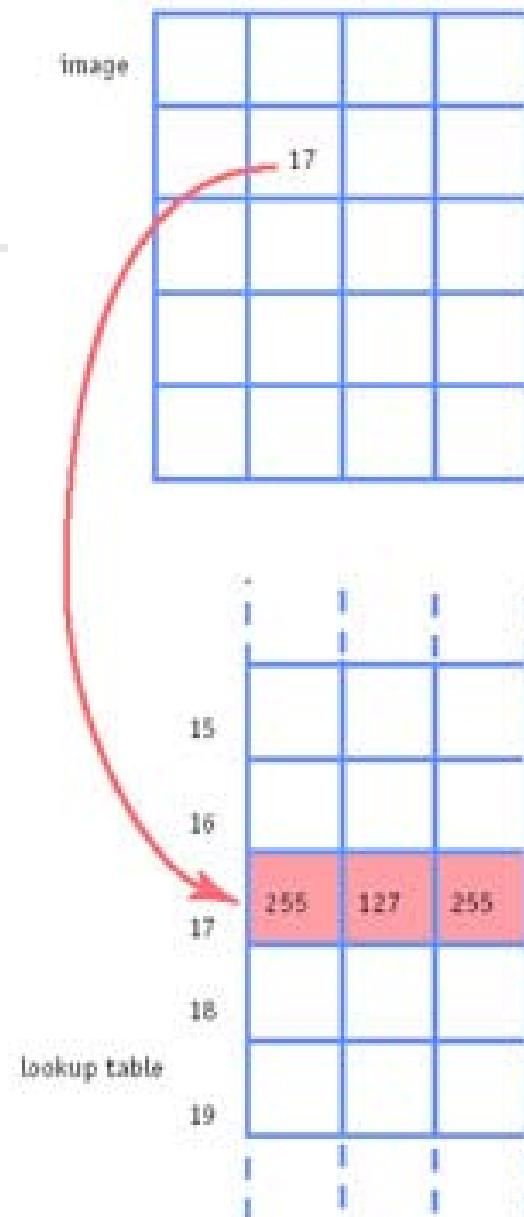
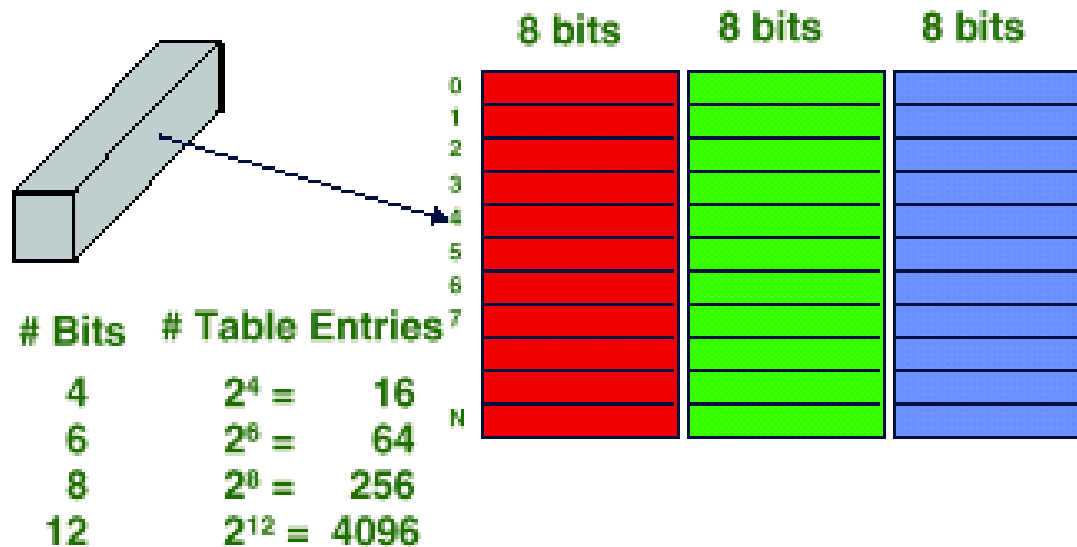
Bits/color # Shades per color

4	$2^4 = 16$
6	$2^6 = 64$
8	$2^8 = 256$

Палитра

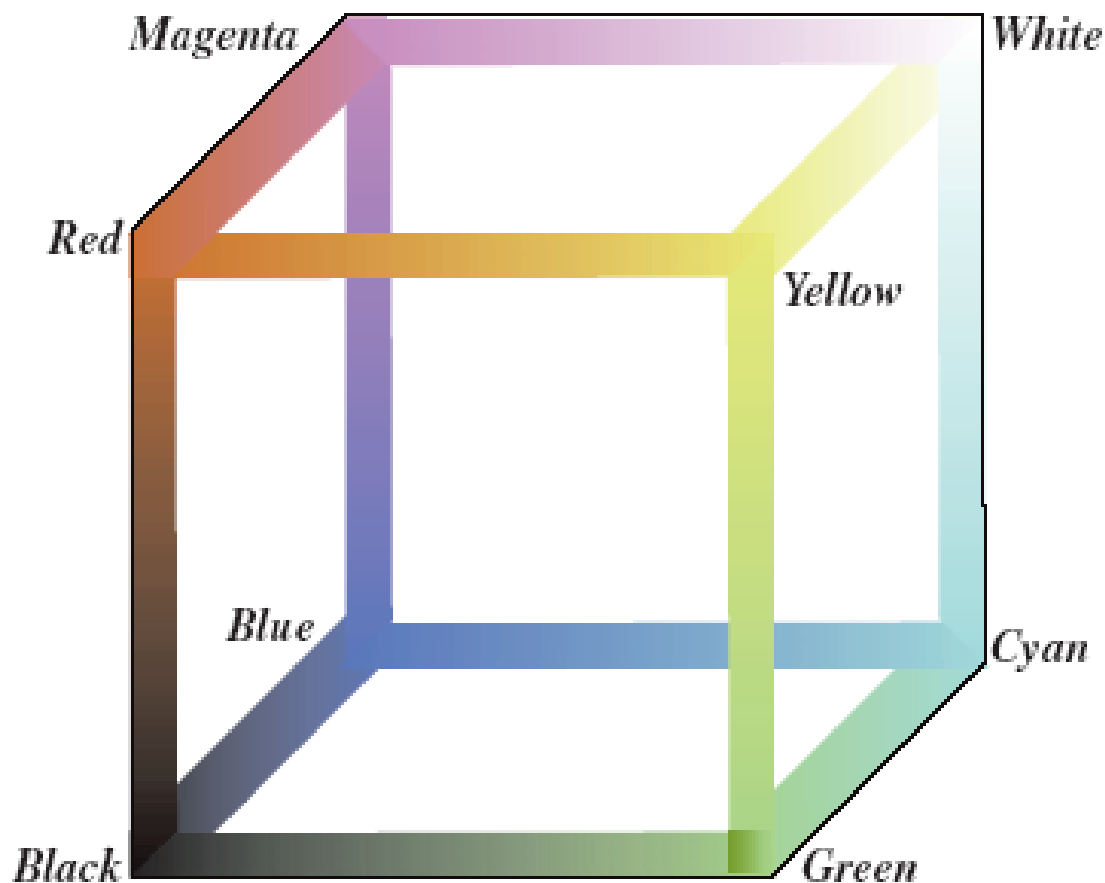
The Framebuffer

- Indirect color with color lookup table*





Цветовой куб



Квантование цветов



24 bits

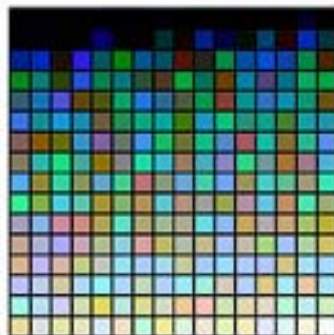
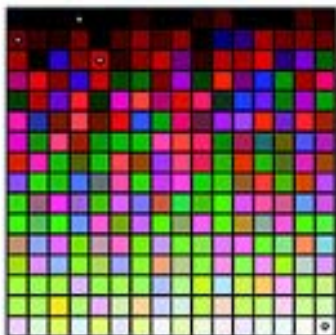
8 bits

4 bits

1 bit



Палитра

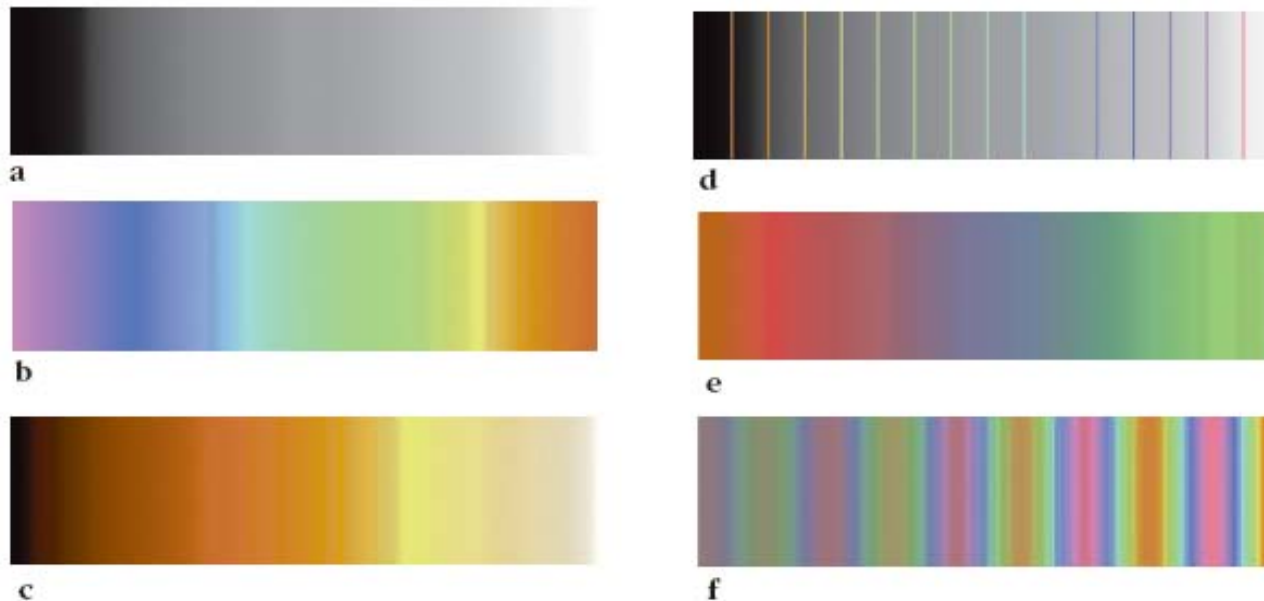


✓ Равномерное квантование

✓ Популярные цвета

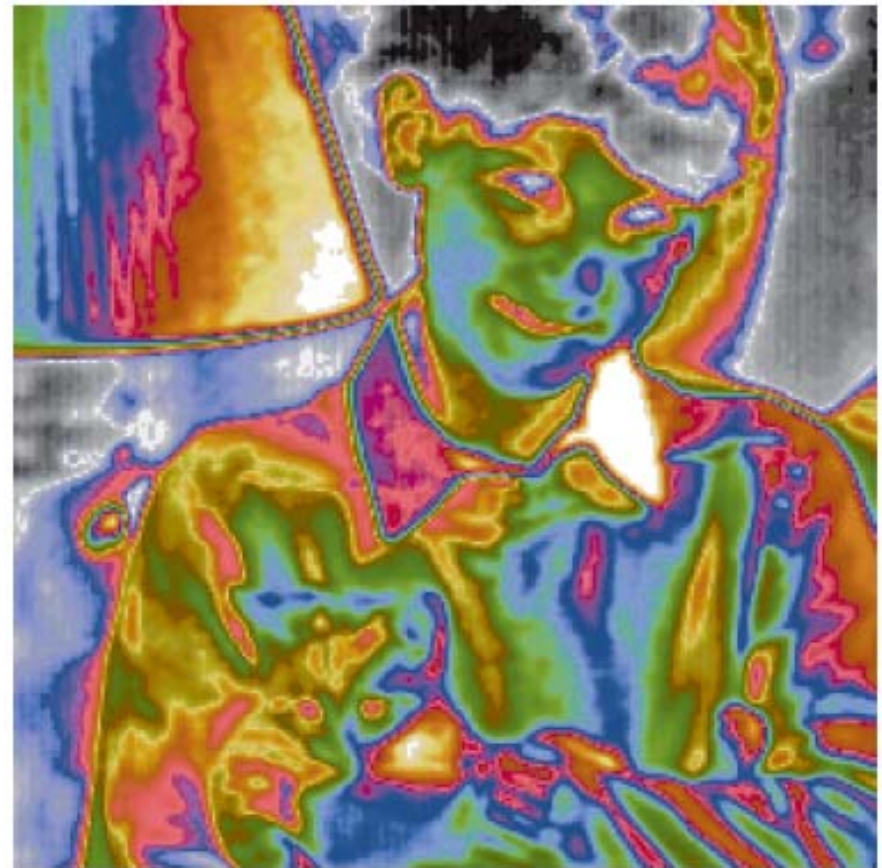
✓ Медианное сечение

Примеры палитр

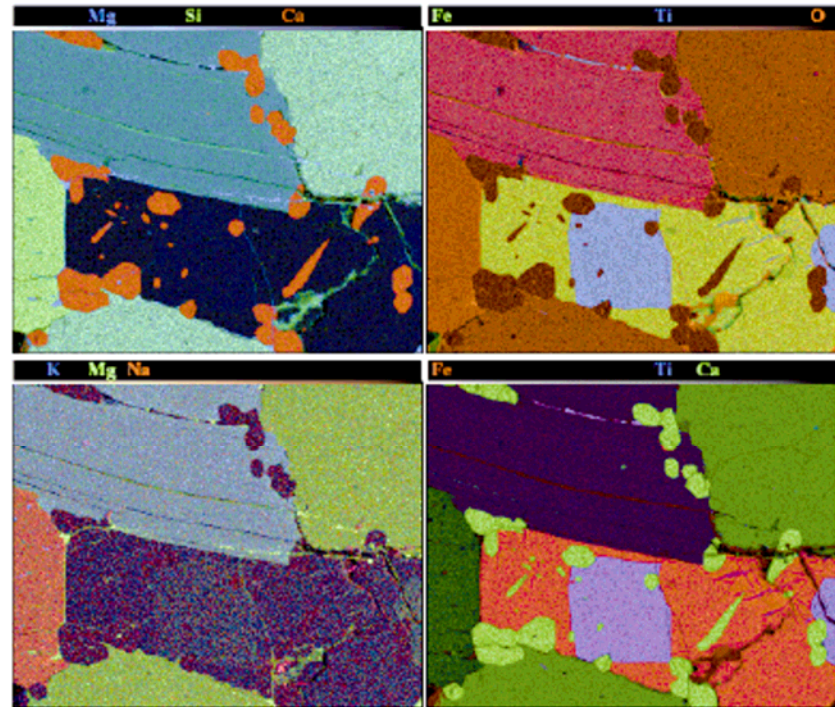
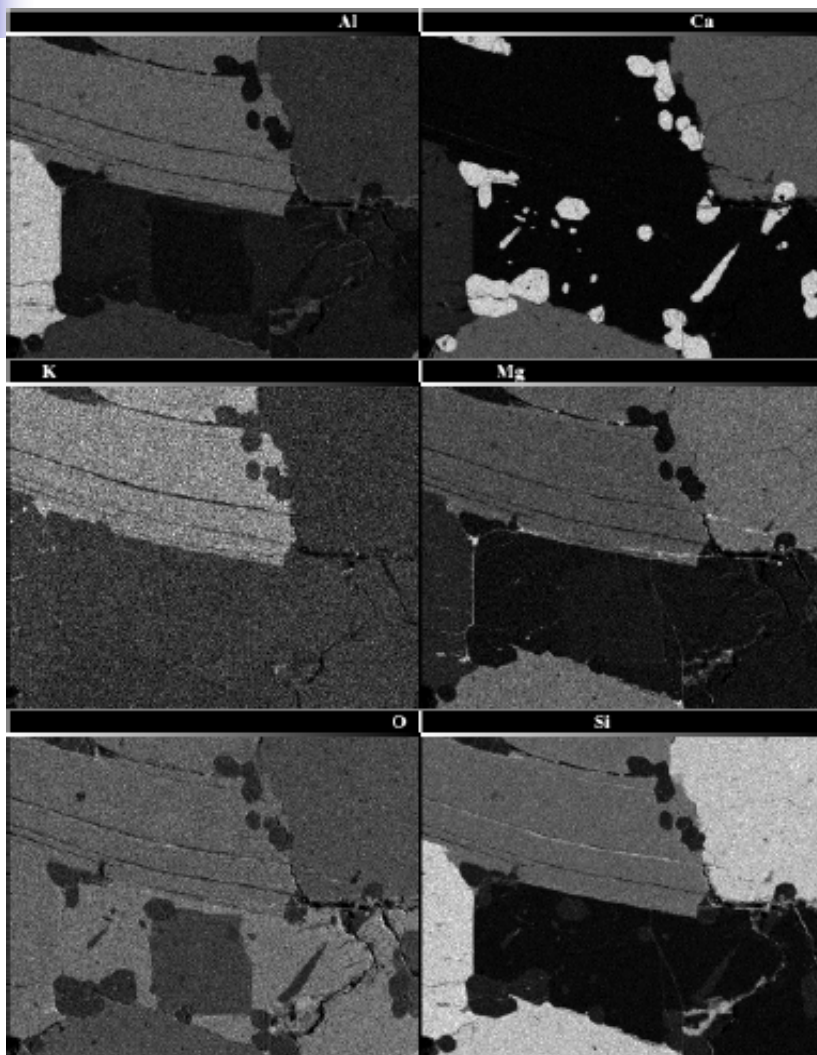


Six examples of display look-up tables (LUTs). (a) monochrome (grey-scale); (b) spectrum or rainbow (variation of hue, with maximum saturation and constant intensity); (c) heat scale; (d) monochrome with contour lines (rainbow colors substituted every 16th value); (e) tri-color blend of three primary colors; f) sinusoidal variation of hue with linear variation of saturation and intensity.

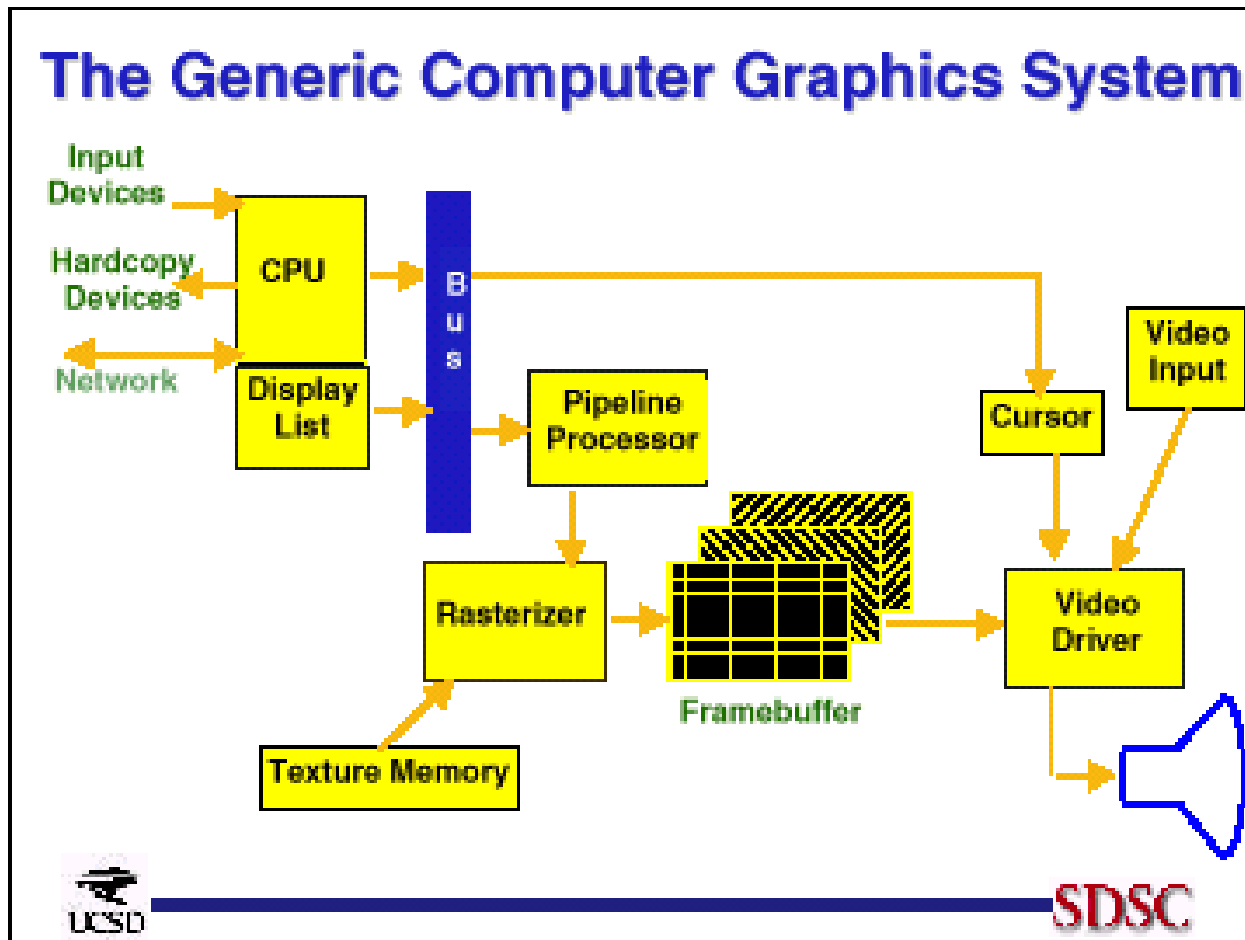
Псевдоцвета



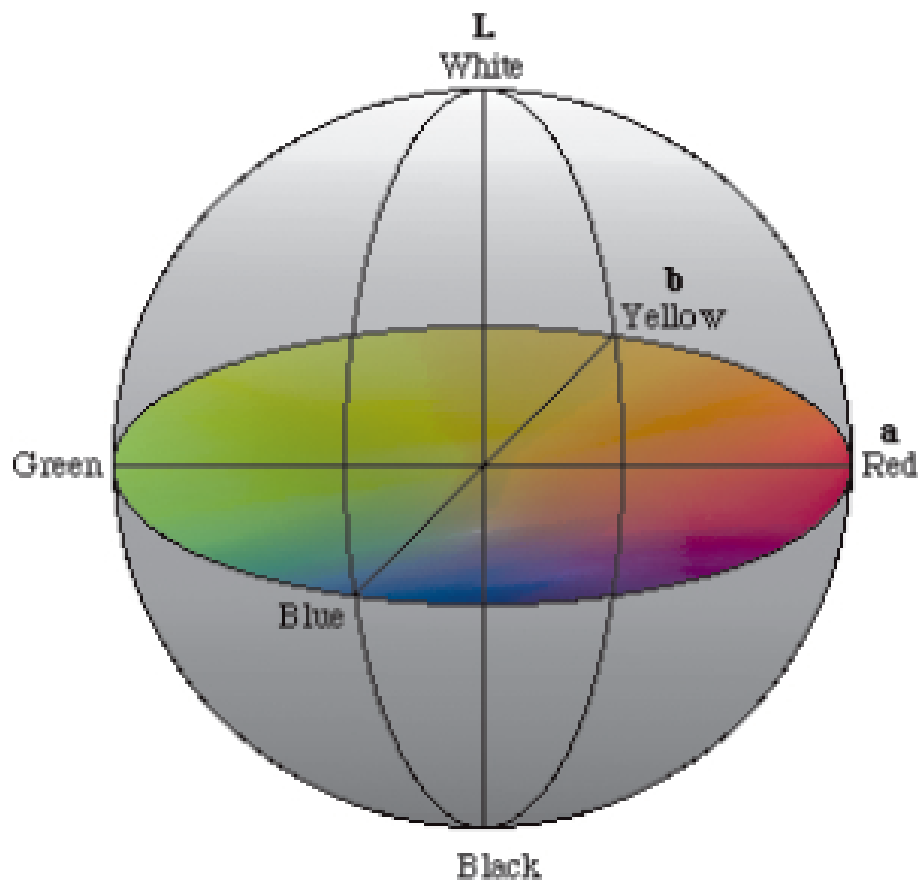
Псевдоцвета



Типовая графическая система

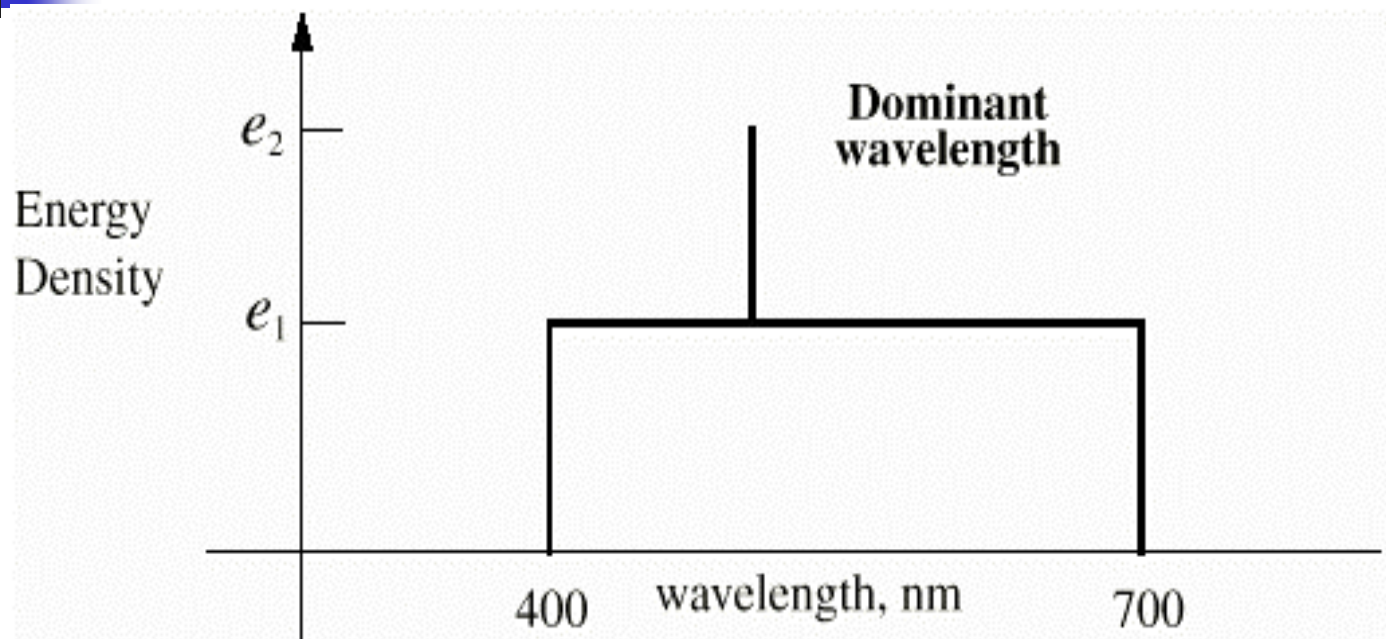


Интуитивные цветовые системы



При уточненном качественном описании цвета используют три его субъективных атрибута: **цветовой тон (ЦТ)**, **насыщенность** и **светлоту**. Наиболее важный атрибут цвета -- ЦТ ("оттенок цвета") -- ассоциируется в человеческом сознании с обусловленностью окраски предмета определенным типом пигмента, краски, красителя. Насыщенность характеризует степень, силу, уровень выражения ЦТ. Этот атрибут в человеческом сознании связан с количеством (концентрацией) пигмента, краски, красителя

Интуитивные цвета



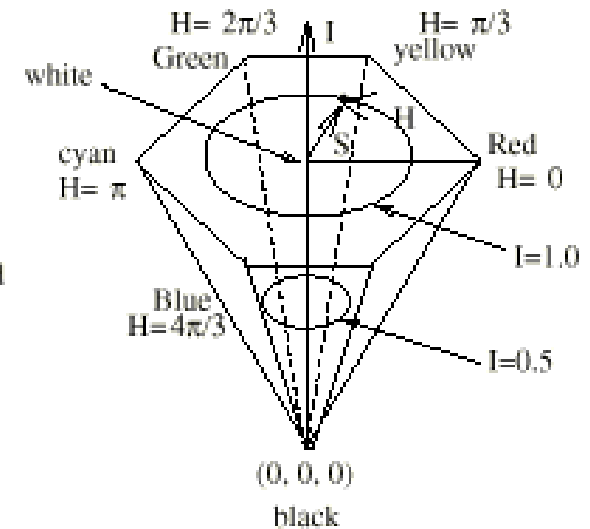
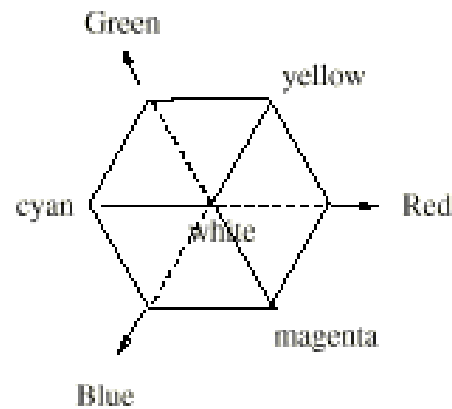
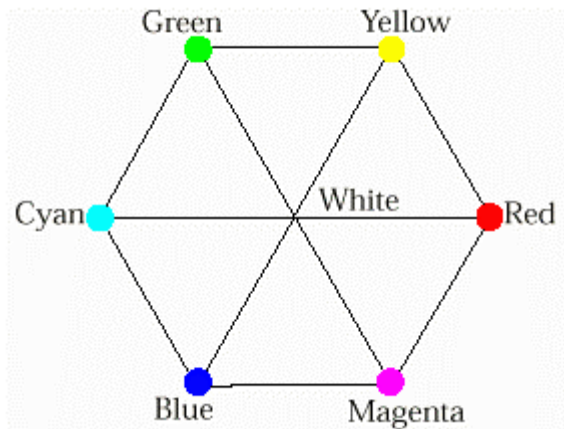
Психофизическими эквивалентами ЦТ, насыщенности и светлоты являются доминирующая длина волны, чистота и яркость. Электромагнитная энергия одной длины волны в видимом спектре дает монохроматический цвет. Цвет определяется доминирующей длиной волны, а чистота -- отношением e_1 и e_2 . Значение e_2 -- это степень разбавления чистого цвета белым



Субъективные атрибуты цвета

Существует инструментально-расчетный метод, при котором ЦТ выражается через объективно определяемую длину волны излучения, воспроизводящего – в смеси с белым цветом – измеряемый цвет; насыщенность цвета – через его чистоту (соотношение монохроматического и белого цвета в смеси), а светлота выражается через объективно устанавливаемую яркость измеряемого излучения. Количественное выражение субъективных атрибутов цвета неоднозначно.

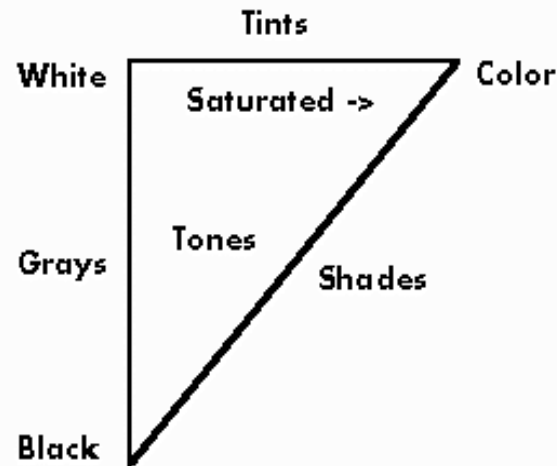
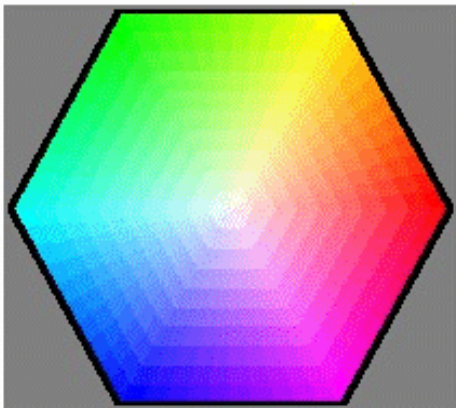
HSI : Hue – Saturation - Intensity



Модель HSV (Hue, Saturation, Value) построена на основе субъективного восприятия цвета человеком (художником). Используется цилиндрическая система координат, а подпространством, в котором определена модель, является шестигранная пирамида.

HSI : Hue – Saturation - Intensity

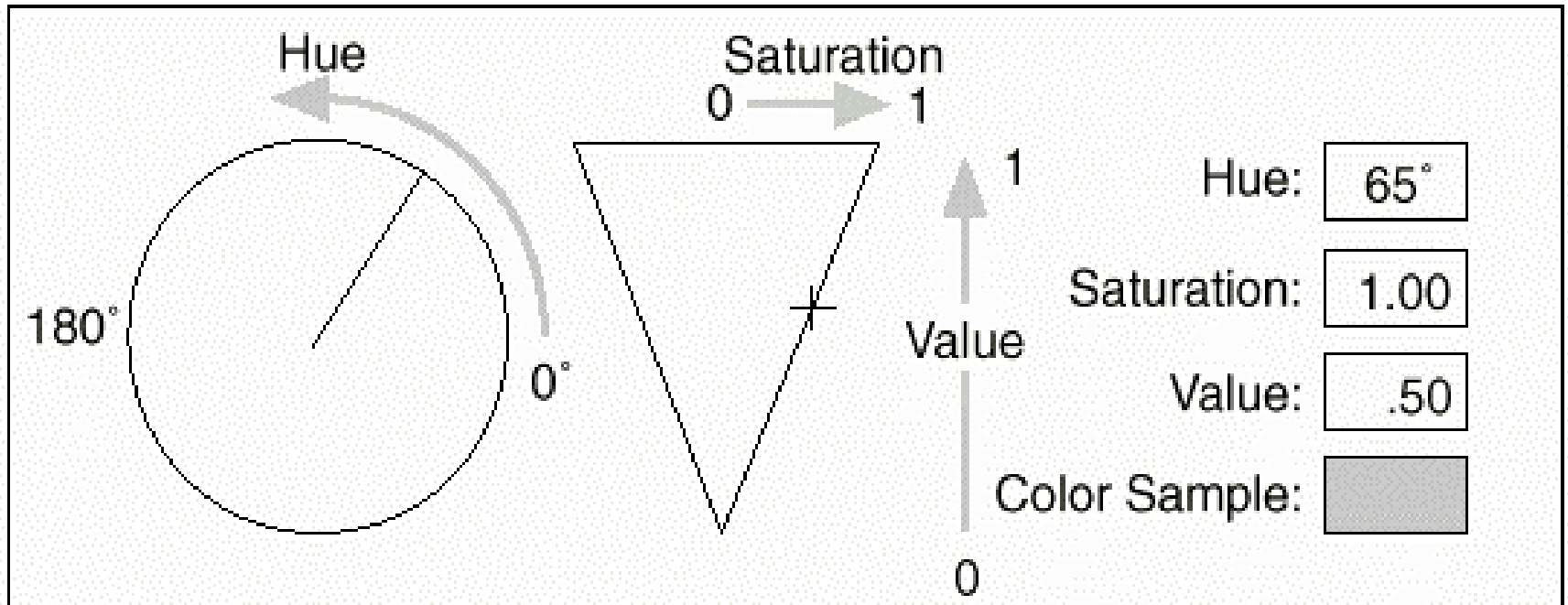
Intuitive Color Spaces



Цветовой тон (H) измеряется углом вокруг вертикальной оси, причем красному, зеленому и синему цветам соответствует $H = 0, 120$ и 240 градусов. Интенсивность (V) вдоль оси возрастает от 0 в вершине до 1 на верхней грани, где она максимальна для всех цветов. Насыщенность (S) определяется расстоянием от оси. На вертикальной оси находятся ахроматические, серые цвета.

Hexagon is a diagonal Cross-Section of the Color Cube

Задание цвета в системе HSI



Модель HSV удобна для задания цвета. На рисунке показана одна из возможных панелей управления, обеспечивающих выполнение такой операции.

Conversion of RGB encoding to HSI encoding.

R,G,B : input values of RGB all in range [0,1] or [0,255];

I : output value of intensity in same range as input;

S : output value of saturation in range [0,1];

H : output value of hue in range $[0, 2\pi)$, -1 if S is 0;

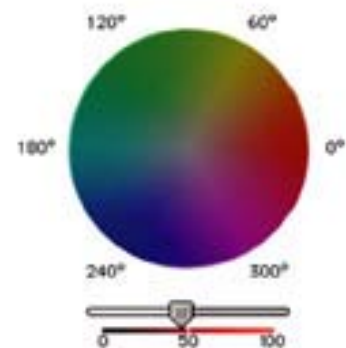
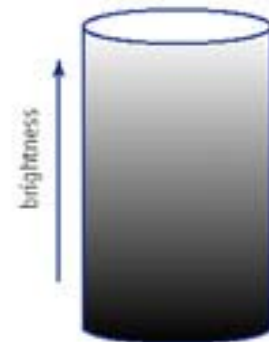
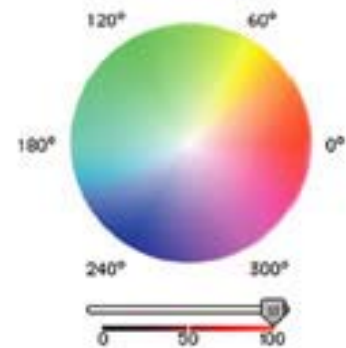
R,G,B,H,S,I are all floating point numbers;

```
procedure RGB_to_HSI( in R,G,B; out H,S,I)
{
  I := max ( R, G, B );
  min := min ( R, G, B );
  if (I ≥ 0.0) then S := (I - min )/I else S := 0.0;
  if (S ≤ 0.0) then { H := -1.0; return; }
  “compute the hue based on the relative sizes of the RGB components”
  diff := I - min;
  “is the point within +/- 60 degrees of the red axis?”
  if (r = I) then H := ( $\pi/3$ )*(g - b)/diff;
  “is the point within +/- 60 degrees of the green axis?”
  else if (g = I) then H := ( $2 * \pi/3$ ) +  $\pi/3 * (b - r)/diff$ ;
  “is the point within +/- 60 degrees of the blue axis?”
  else if (b = I) then H := ( $4 * \pi/3$ ) +  $\pi/3 * (r - g)/diff$ ;
  if (H ≤ 0.0) H := H +  $2\pi$ ;
}
```

Algorithm 15: Conversion of RGB to HSI.

Вопрос

В системе RGB координаты цвета (1.0, 1.0, 0.1). Какие координаты имеет этот цвет в системах CMY и HSV/HSI?



Коррекция цвета



Color matching by shifting hue values:

(a) image of a flower in shade, with an area marked for hue measurement;

(b) another similar flower imaged in direct sunlight, with an area marked for matching;

(c) image a with the hue rotated by 12° to match the hue in the two test areas.

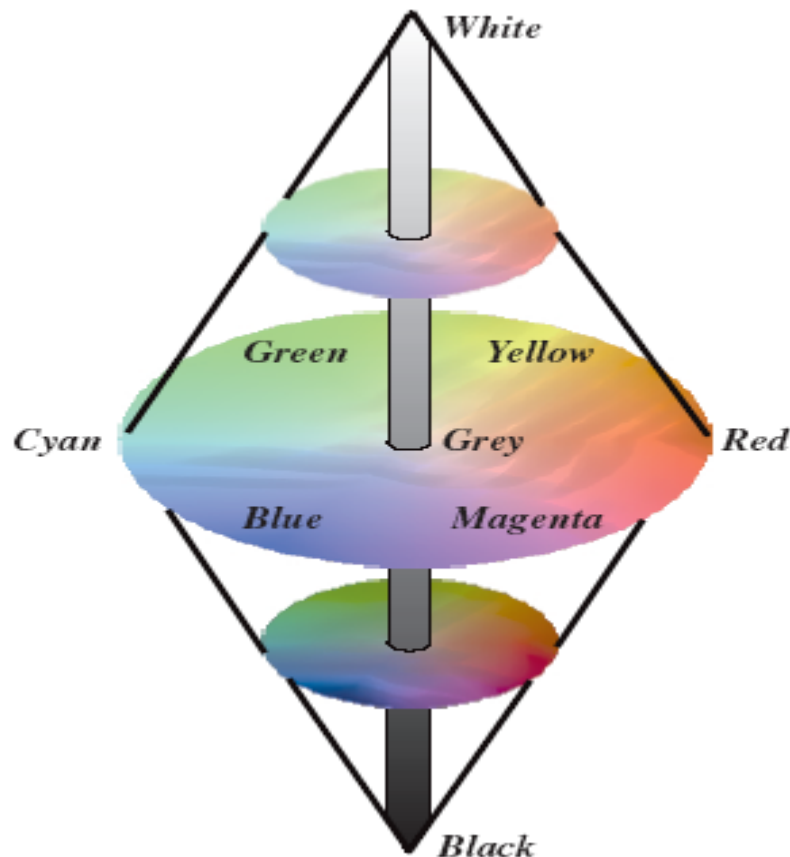
Перенос цветовой палитры

(задание № 2/2005)



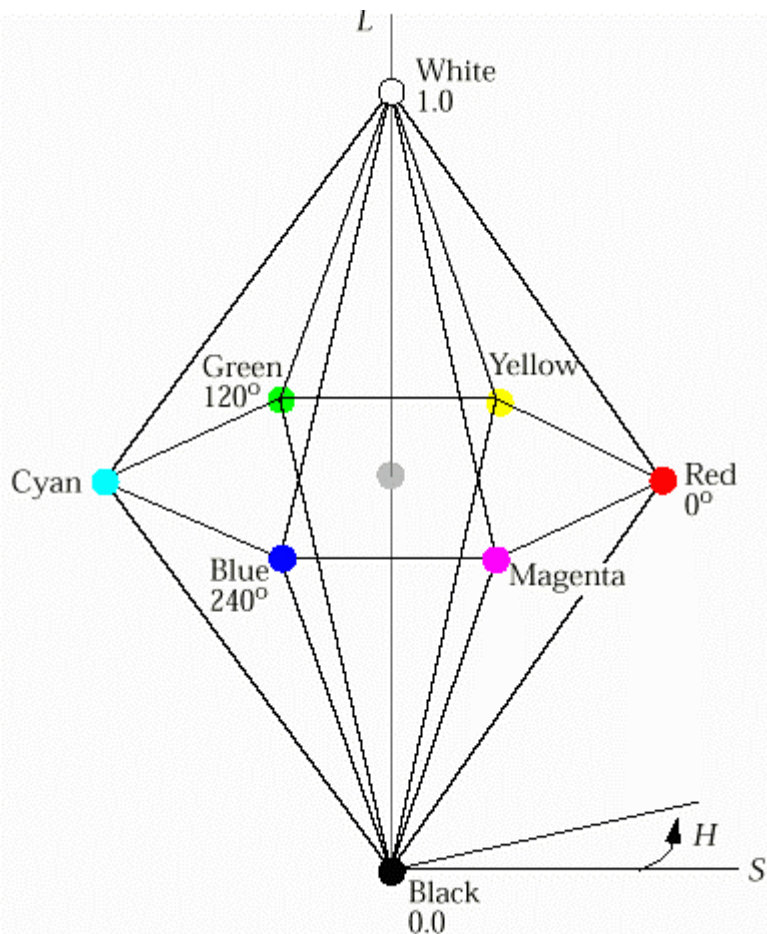
<http://graphics.cs.msu.su/courses/cg/assigns/2005/hw2/index.html>

Цветовая модель HLS



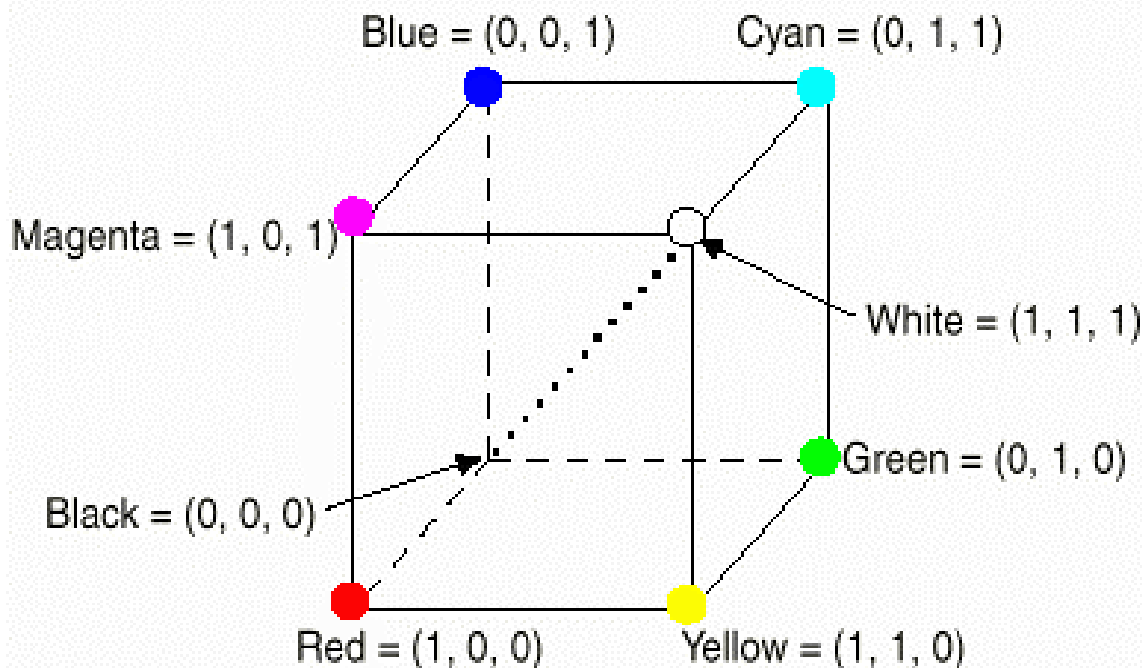
Цветовая модель HLS (Hue, Lightness, Saturation) в виде двойной шестигранной пирамиды является расширением одиночной пирамиды HSV.

Цветовая модель HLS



Рассмотренные интуитивные цветовые модели неудобны для применения в цветных устройствах и цветной растровой графике. В этих случаях широко применяется модель **RGB**. Цветовое пространство задается как куб в декартовой системе координат. Каждый цвет задается точкой в этом кубе и определяется как сумма основных цветов (**primaries**). Основные цвета (красный, зеленый и синий) являются аддитивными основными цветами. Главная диагональ куба с равными количествами каждого основного цвета представляет ахроматические (серые) цвета.

RGB



RGB модель может применяться для задания цвета, однако эксперименты показывают, что модели **HSV** и **HLS** позволяют выбирать цвет аккуратнее.

Впрочем процедура перевода координат из системы **RGB** в системы **HSV** и **HLS** довольно проста. Достаточно спроектировать куб на плоскость вдоль главной диагонали куба.

Color separations

Разделение цветов



- (a) original;
- (b) red component;
- (c) green component;
- (d) blue component;
- (e) hue component;
- (f) intensity component;
- (g) saturation component

a

Разделение в системе RGB



(b) red component;

(c) green component;

(d) blue component

Разделение в системе HSI



e



f



g

(e) hue component;

(f) intensity component;

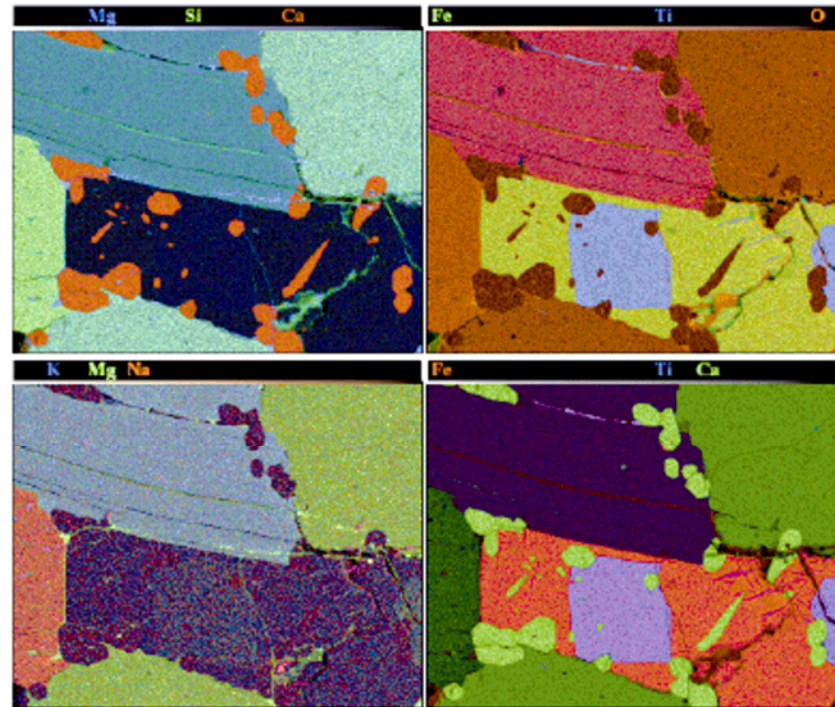
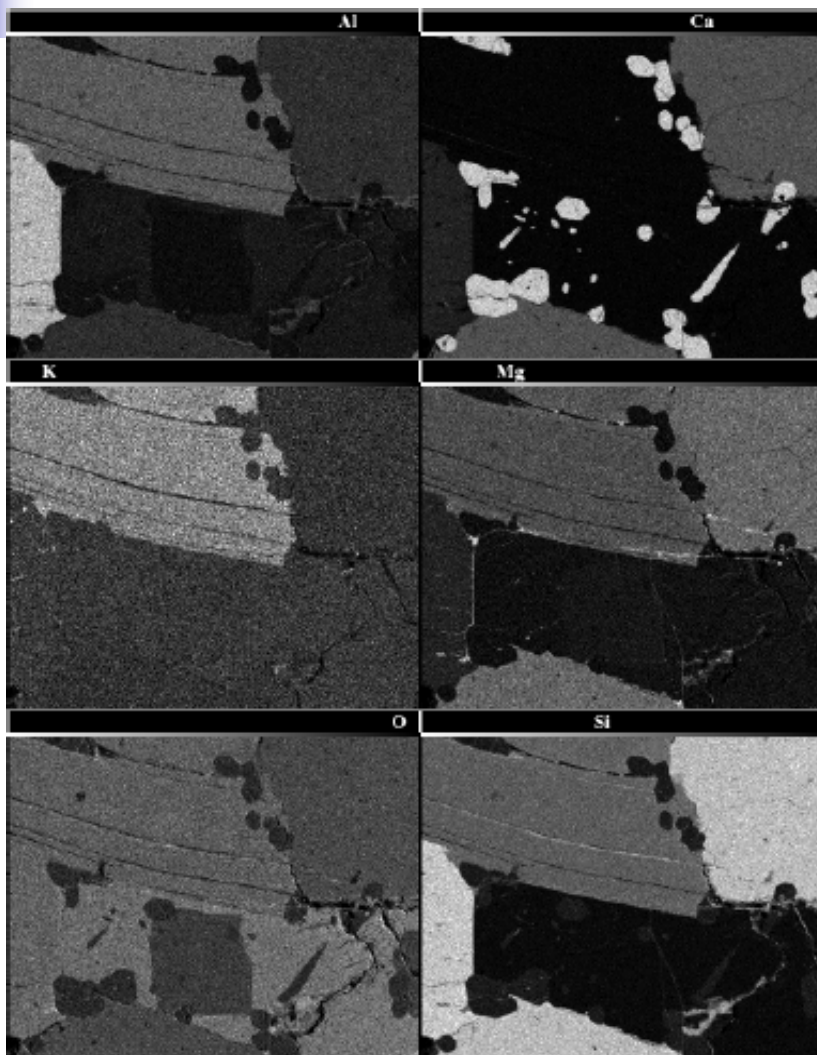
(g) saturation component



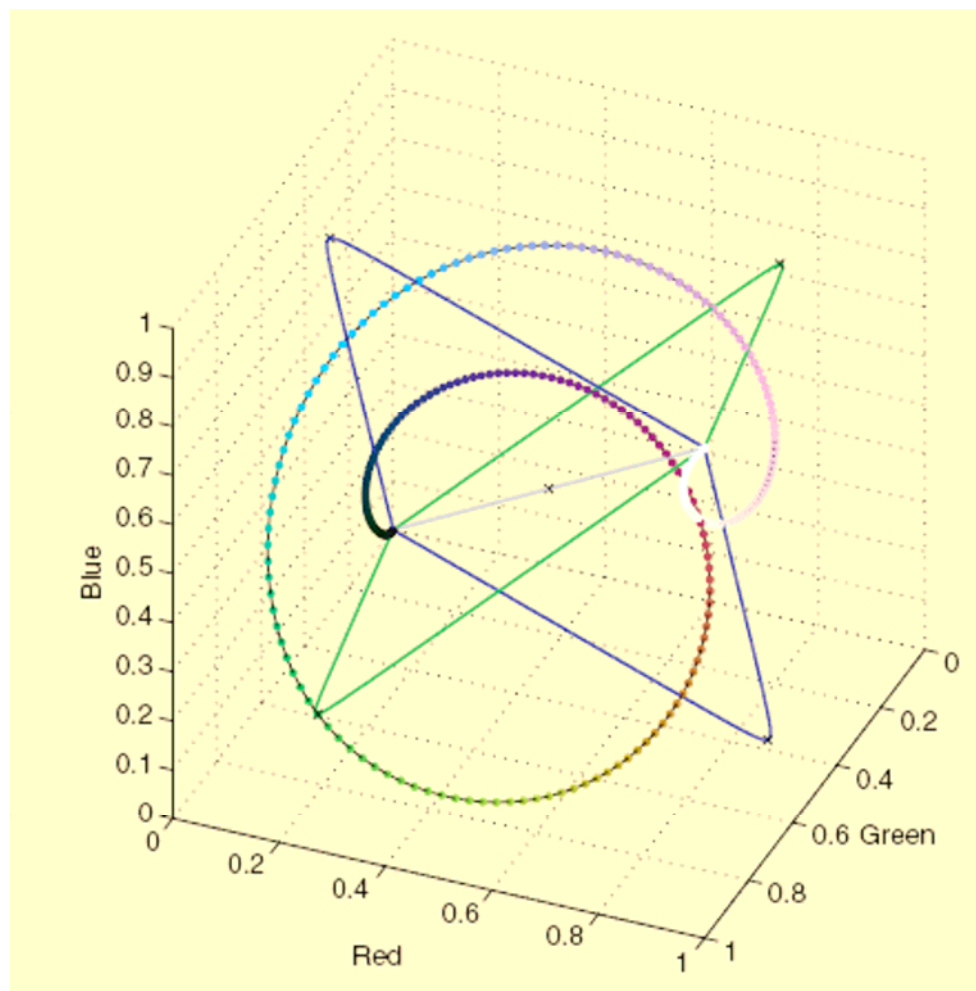
Модель YIQ

- $Y = .299R + .587G + .114B$
- $I = .596R - .275G - .321B$
- $Q = .212R - .528G + .311B$
- $R = 1.000 Y + 0.956 I + 0.621 Q$
- $G = 1.000 Y - 0.272 I - 0.647 Q$
- $B = 1.000 Y - 1.106 I + 1.703 Q$
- Цветовая модель YIQ используется в коммерческом цветном телевидении США
- Модель YIQ совместима с черно-белым телевидением
- Модель YIQ используется в стандарте JPEG
- $I = R - C$; $Q = M - G$

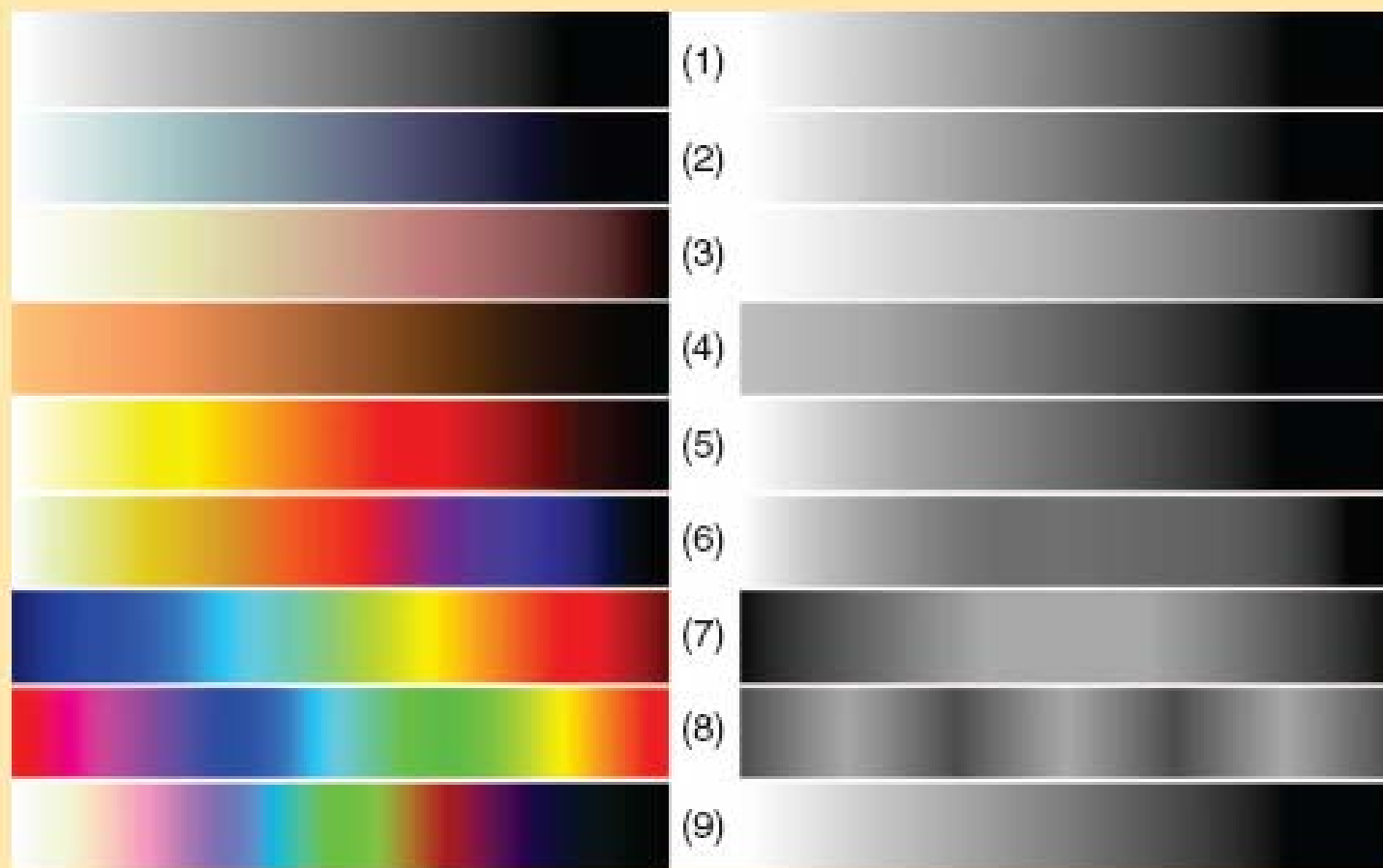
Псевдоцвета



Траектория цветной спирали в единичном RGB - кубе



9 цветовых шкал и соответствующих светимостей



(a)

(b)

Согласование цветов

	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black
White		White	White	White	White	White	White	White
Red	Red		Red	Red	Red	Red	Red	Red
Yellow	Yellow	Yellow		Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Green	Green	Green	Green			Green	Green	Green
Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue		Blue



University of California, San Diego

SAN DIEGO SUPERCOMPUTER CENTER

SDSC



Несовместимость цветов

Reds and Blues are on opposite ends of the color spectrum. It is hard for your eyes to focus on both.



Литература в библиотеке

- *Nigel Chapman and Jenny Chapman, “Digital Multimedia”, Chapter 6*

<http://courses.graphicon.ru/files/courses/cg/2007/resources/Chapman-Ch6-Color.pdf>

- *Color & Shading (из книги Linda Shapiro & George Stockman "Computer Vision") (pdf 1.23 MB) (на англ.)*

<http://graphics.cs.msu.su/courses/cg01b/ch6.pdf>

- *Свет и цвет (html)*

<http://graphics.cs.msu.su/courses/cg99/notes/lect5/notes05.htm>

<http://graphics.cs.msu.su/courses/cg99/notes/lect6/paletopt.htm>

<http://graphics.cs.msu.su/courses/cg/assigns/2005/hw2/index.htm>