

# Компьютерная графика

<http://compgraph.tpu.ru/>

Лекции 36 часов

Лабораторные 36 часов

Дёмин Антон Юрьевич

Доцент каф. ИПС

# Распределение учебного времени

Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)		СРС (час)	Инд. зад.	Итого
	Лекции	Лаб. зан.			
1. Введение	2	4	8		14
2. Представление цвета в компьютере	4	4	8		16
3. Фракталы	2	2	8		12
4 Алгоритмы растеризации	2	2	8		12
5. Алгоритмы обработки растровых изображений	4	2	8		14
6. Векторизация	2	0	8	Кол-м 1	10
7. 2D и 3D преобразования	4	4	8		16
8. Проекция и изображение трехмерных объектов	2	4	8		14
9. Удаление невидимых линий и поверхностей. Методы закраски	8	4	8		20
10. Графические библиотеки и аппаратные средства компьютерной графики	2	6	8	Кол-м 2	16
Итого	32	32	80		144

# Литература

- *Роджерс Д., Адамс Дж.* Математические основы машинной графики: Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1980. — 240 с., ил.
- *Роджерс Д.* Алгоритмические основы машинной графики: М., Мир, 1989.
- *Фоли Дж., вэн Дэм А.* Основы интерактивной машинной графики: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 368 с., ил.
- *Фоли Дж., вэн Дэм А.* Основы интерактивной машинной графики: В 2-х книгах. Кн. 2. Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 368 с., ил.
- *Шикин Е. В., Боресков А. В.* Компьютерная графика. Полигональные модели. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. — 464 с.
- *Тихомиров Ю.В.* OpenGL: Создание реалистичных изображений. — М.: BSV, 1998. — 240 с., ил.
- *Краснов М. В.* OpenGL. Графика в проектах Delphi. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 352 с.

## ***Компьютерная (машинная) графика –***

это создание, хранение и обработка моделей объектов и их изображений с помощью ЭВМ.

## ***Интерактивная графика –***

раздел компьютерной графики, изучающий вопросы динамического управления со стороны пользователя содержанием изображения

## ***Компьютерная геометрия –***

математический аппарат, применяемый в компьютерной графике.



2D графика



3D графика



Геометрическое  
моделирование

## *Способы представления изображений в памяти компьютера:*

- растровое представление
- векторное представление
- представление с помощью фракталов

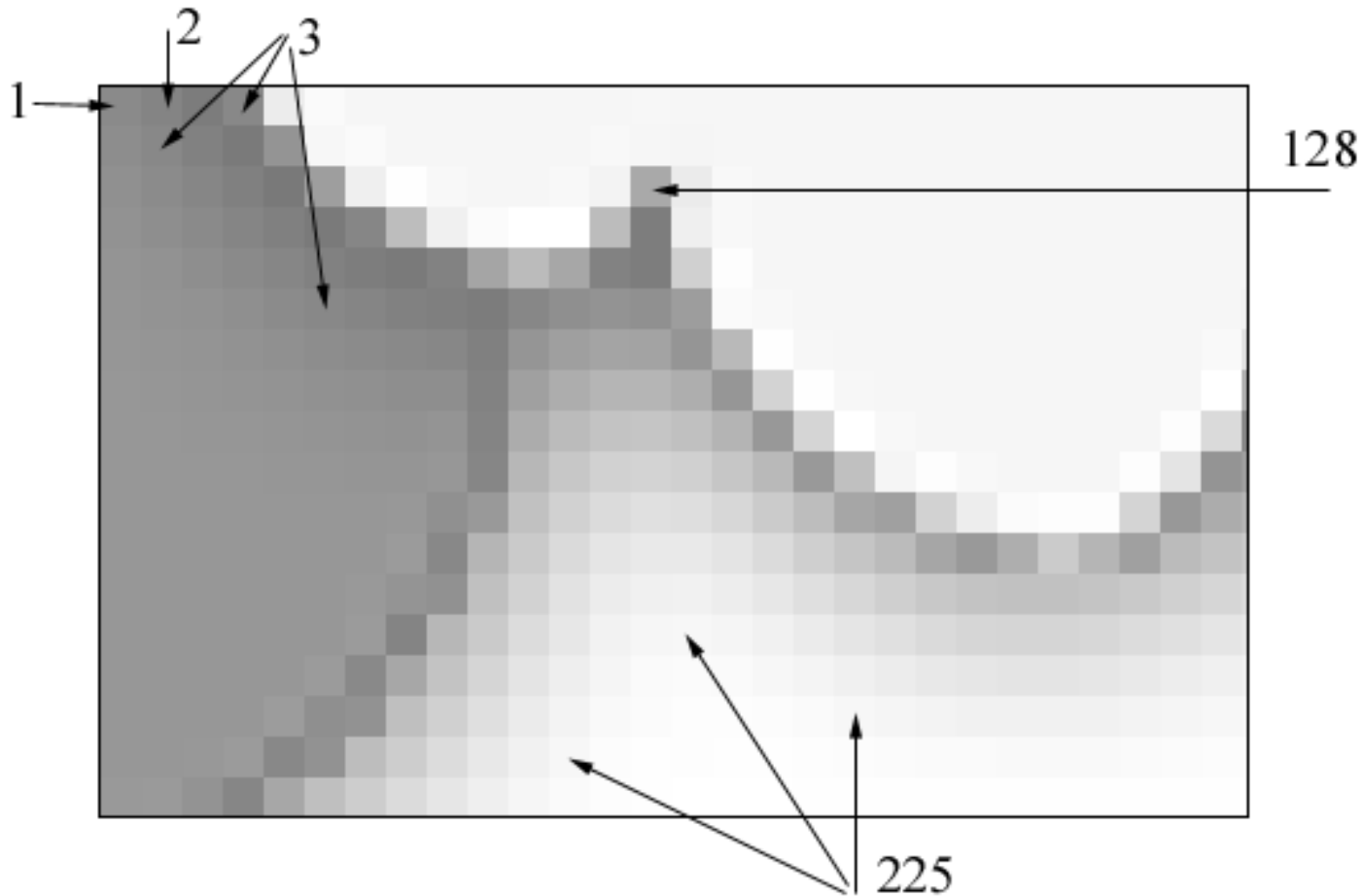
# Растровая графика -

способ представления изображений в виде совокупности отдельных точек (пикселей) различных цветов и оттенков.

# Растровая графика



# Растровая графика



1,2,8,3,128,255,255,16,16 .....



*Пиксель –*

мельчайший элемент растрового изображения.

P i x e l – P I X E L e m e n t -  
«элемент изображения»

## Недостатки растровой графики:

1. для хранения и обработки изображений высокого качества необходим большой объем памяти;
2. сложно манипулировать отдельными объектами при редактировании изображений;
3. ухудшается качество при масштабировании.

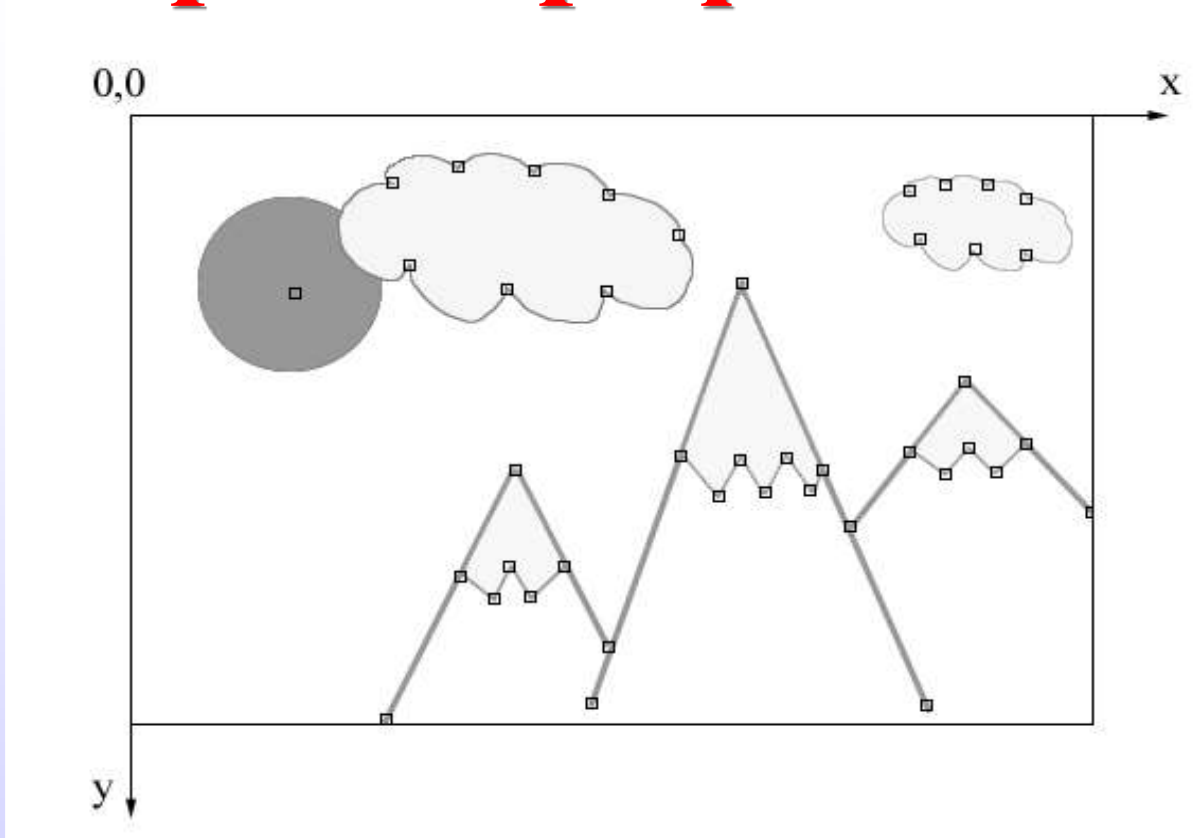
# Векторная графика -

способ представления изображений в виде совокупности отдельных объектов (графических примитивов). Каждый примитив описывается математически относительно его узлов.

## Достоинства векторной графики:

1. для хранения и обработки изображений высокого качества необходим небольшой объем памяти;
2. легко манипулировать отдельными объектами при редактировании изображений;
3. не ухудшается качество при масштабировании.

# Векторная графика



Изображение представляет из себя массив описаний (БД графических примитивов). Например:

отрезок (20,20-100,80);

окружность(50,40-30);

кривая\_Безье (20,20-50,30-100,50)

## \*Сферы применения растровой графики:

- представление фотографий и фотореалистичных изображений.

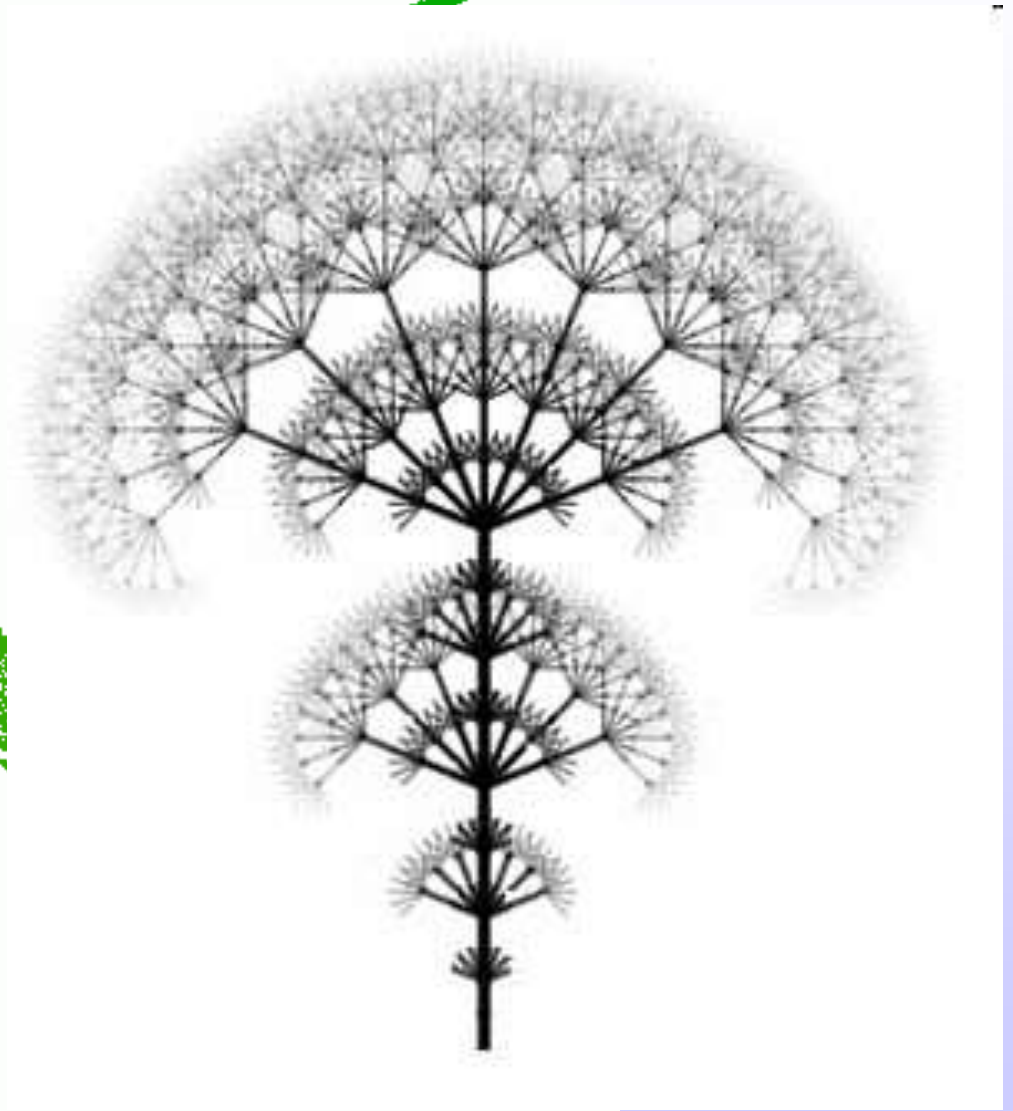
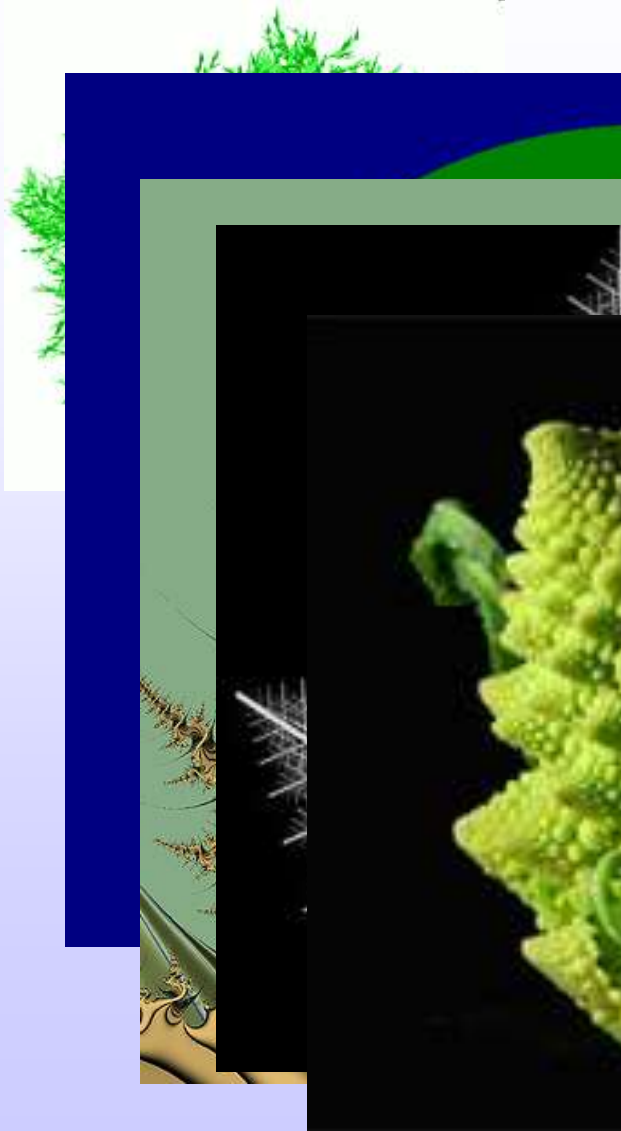
## Сферы применения векторной графики:

- СХЕМЫ
- ПЛАНЫ
- ЧЕРТЕЖИ
- ДИАГРАММЫ
- ШРИФТЫ
- ДРУГИЕ.

# Фрактальная графика

- **Фрактал** — объект, отдельные элементы которого наследуют свойства родительских структур. Поскольку более детальное описание элементов меньшего масштаба происходит по простому алгоритму, описать такой объект можно всего лишь несколькими математическими уравнениями.
- Фракталы позволяют описывать целые классы изображений, для детального описания которых требуется относительно мало памяти. С другой стороны, к изображениям вне этих классов, фракталы применимы слабо.

# Примеры фракталов



# Параметры растровых изображений

## *Разрешение (resolution) –*

это степень детализации изображения, число пикселей отводимых на единицу площади.

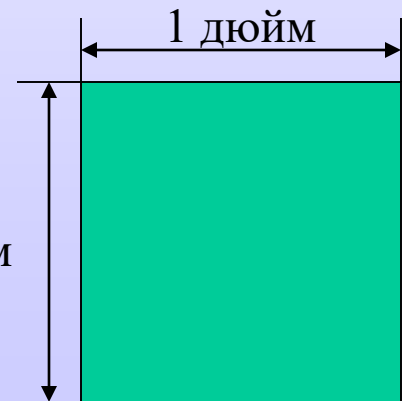
измеряется в точках на дюйм:

**d p i** - dots per inch

300 dpi



1 дюйм



300 точек

300 точек

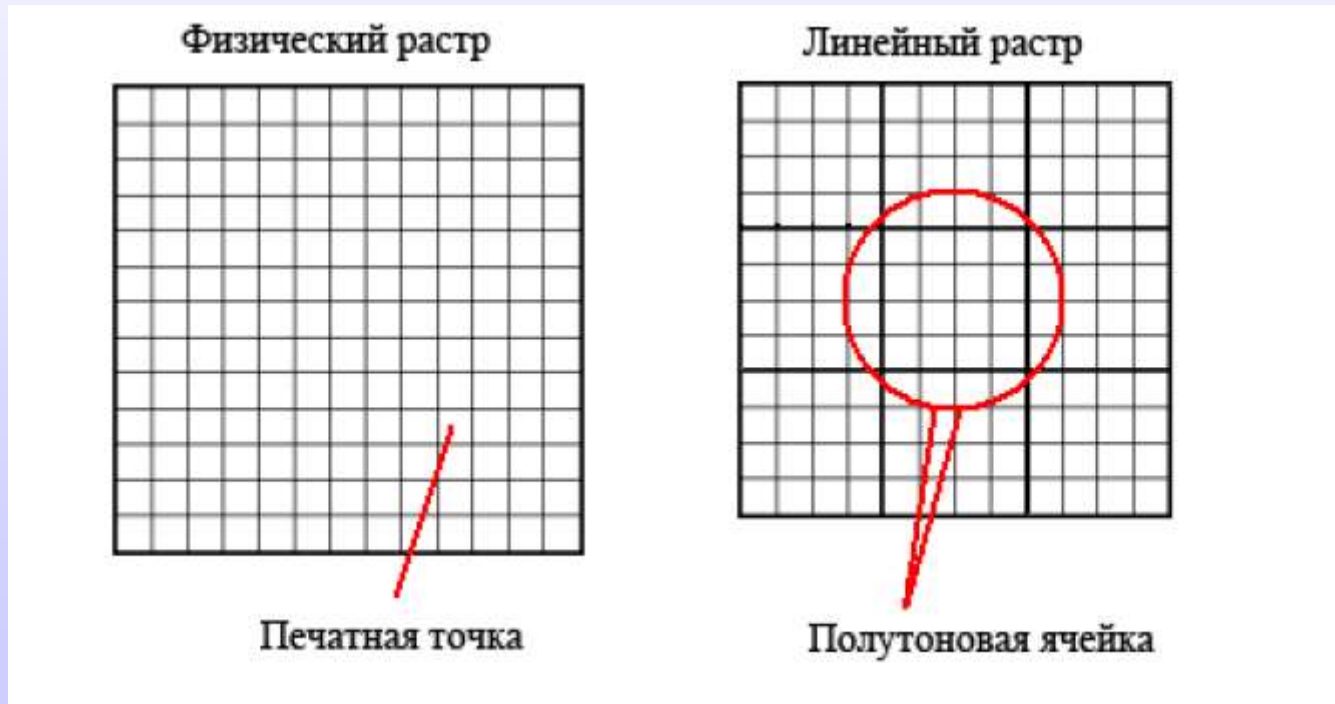


# Разрешение

- Разрешение оригинала *DPI*
- Разрешение экранного изображения *PPI*
- (*зависит от разрешения экрана, разрешения оригинала и масштаба*)
- Разрешение печатного изображения *LPI*

# Полутоновое растрирование

*Полутоновое растрирование (halftoning)* – это способ имитации оттенков отдельными точками краски или тонера.

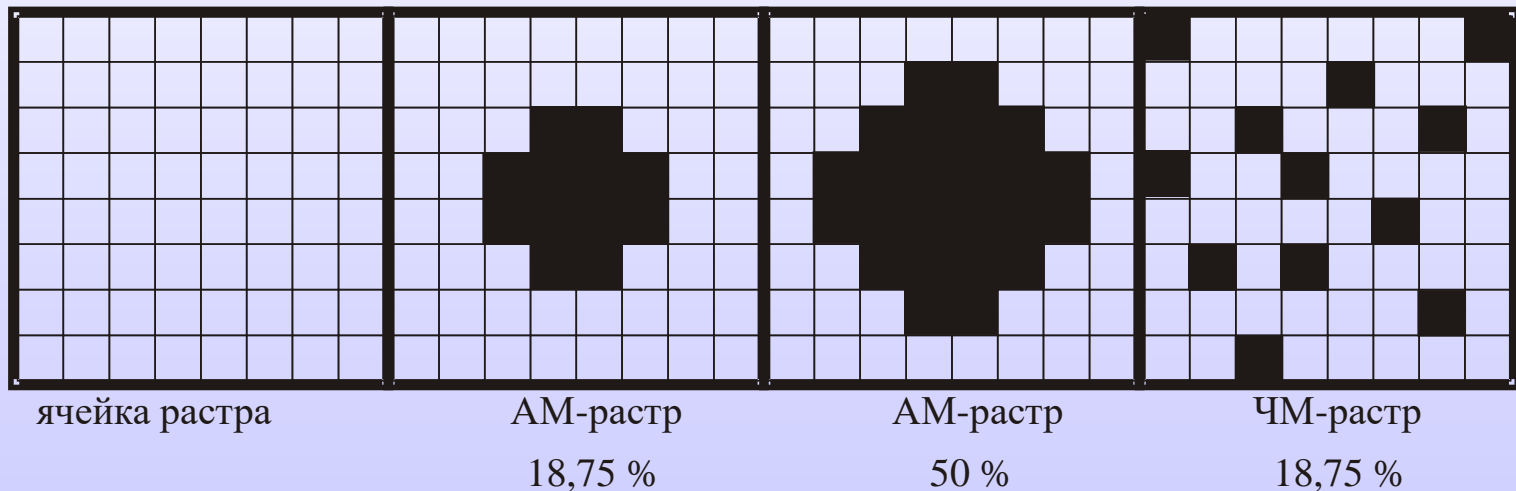


# Линеатура (разрешение печатного изображения)

- ✓ Из полутоновых ячеек образуется еще одна сетка, именуемая *линейным растром*.
- ✓ Частота линейного растра или количество полутоновых ячеек на единицу длины называется *линеатурой* и измеряется в линиях на дюйм (line per inch, lpi).

# Методы растрирования оригинала

При выводе на печать пиксели изображения представляются полутоновыми ячейками, а не точками физического растра печатающего устройства.

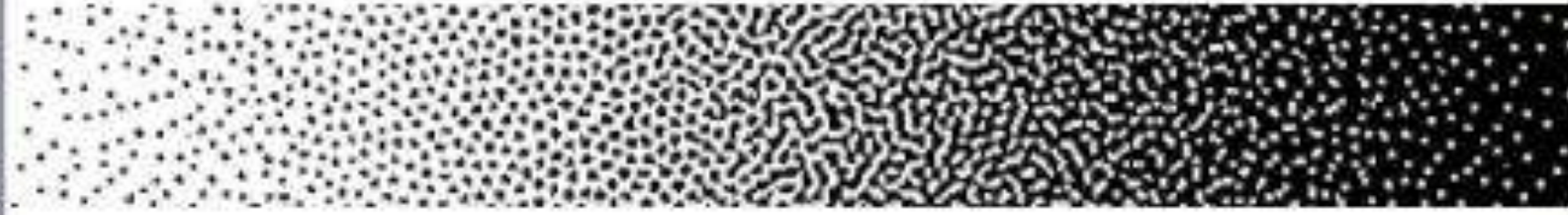
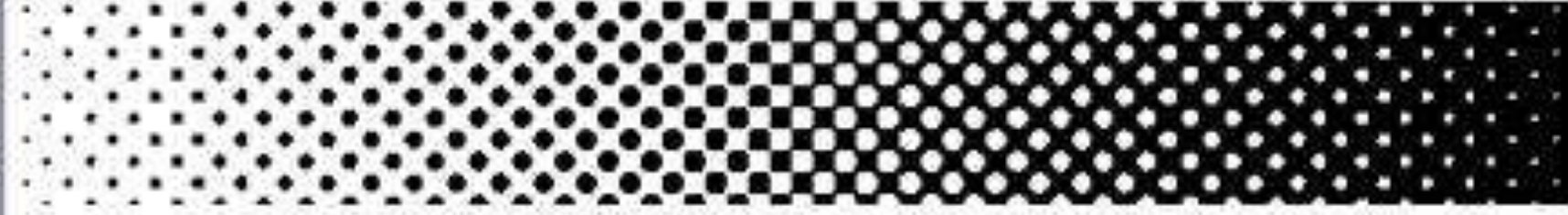


Традиционный  
dX-растр

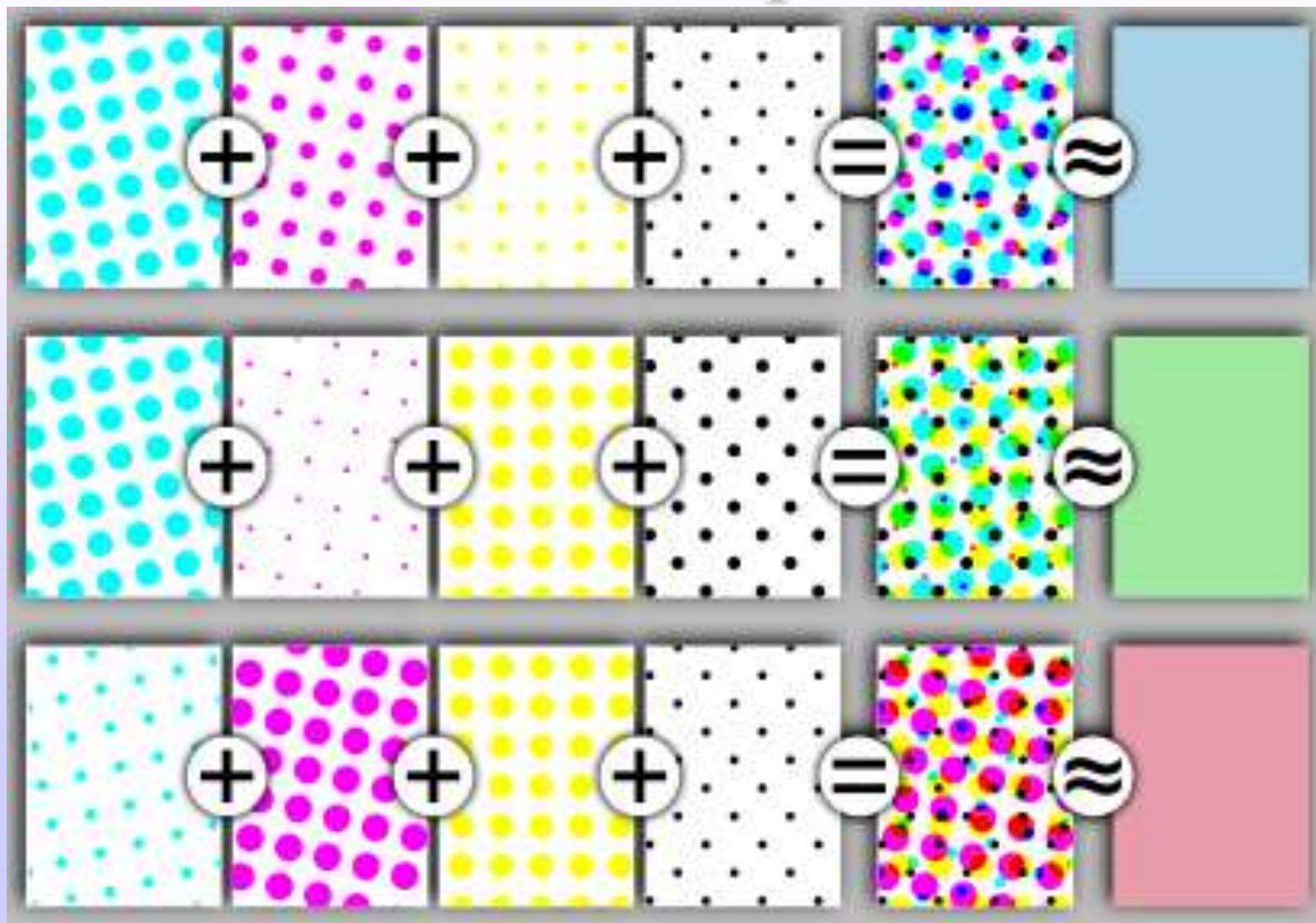
Стохастический растр  
первого поколения

Стохастический растр  
второго поколения

Гибридный  
растр



# Полутоновое растривание для цветных изображений

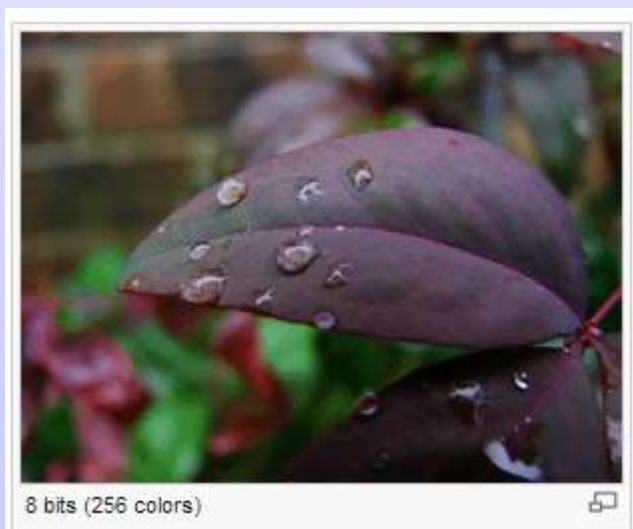
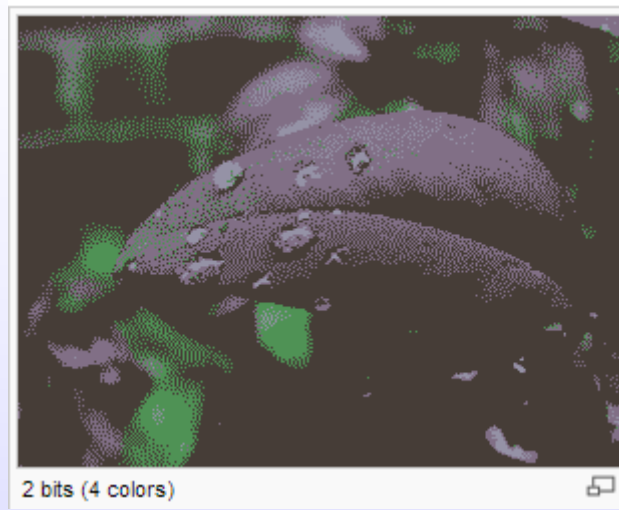
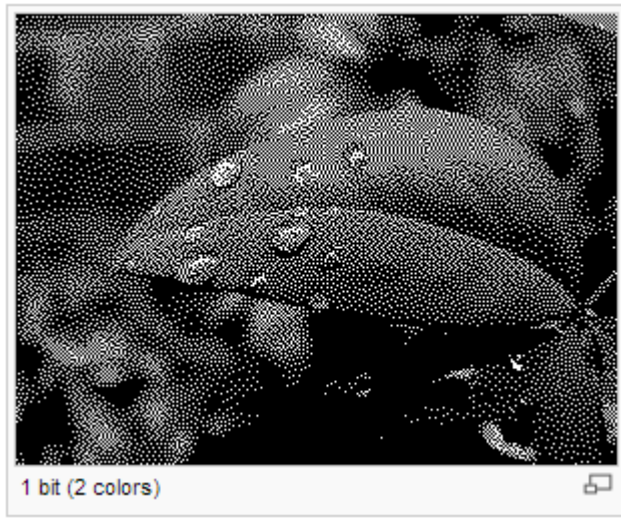


## *Глубина цвета –*

это число бит, используемых для представления цвета каждого отдельного пикселя изображения, определяемое цветовым или ТОНОВЫМ ДИАПАЗОНОМ.

Стандарт	Глубина цвета	Кол-во цветов
VGA	8 бит	256
HighColor	16 бит	65536 цветов
TrueColor	24 бита	16,7 млн. цветов

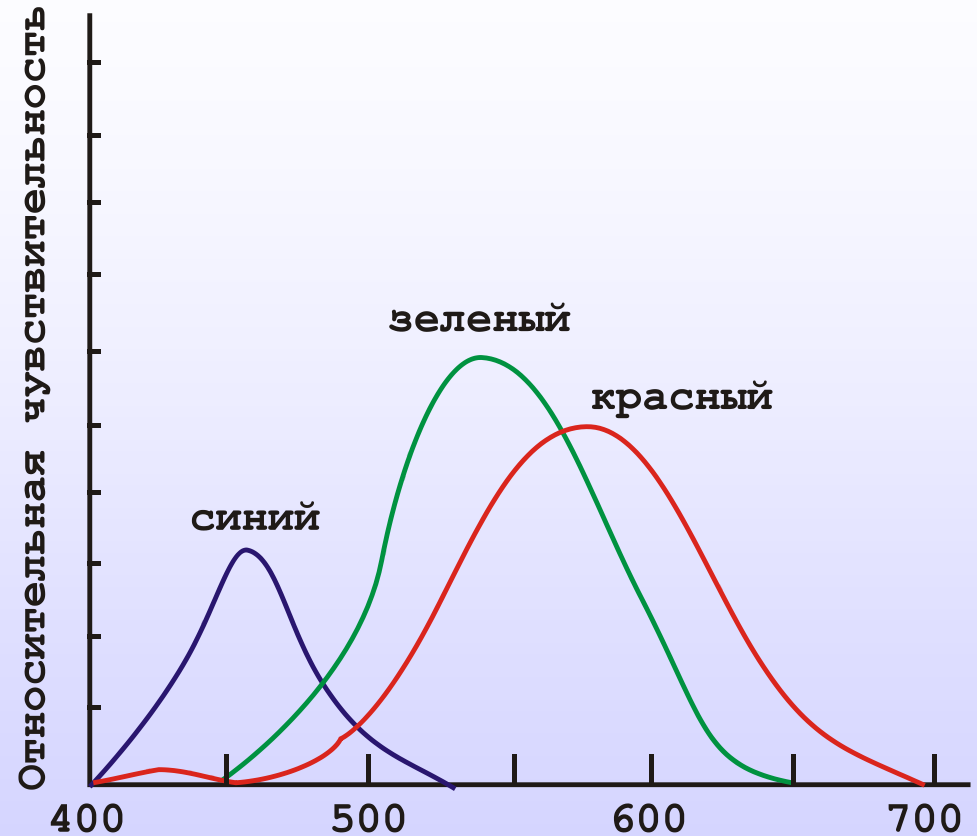
# Примеры изображений с разной глубиной цвета





# Восприятие цветов

- Ахроматические цвета (ч/б, серый)
- Хроматические цвета
- Моно-хроматические цвета



Кривые реакции глаза

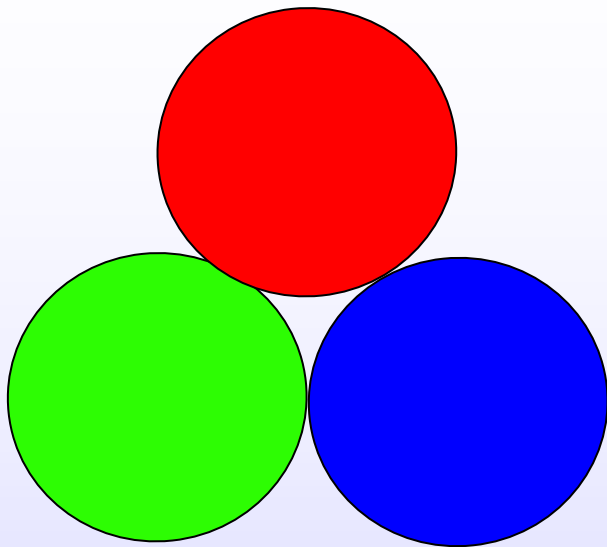
# Характеристики цвета

- Физические характеристики светового потока определяются параметрами *мощности, яркости* и *освещенности*. Визуальные параметры ощущения цвета характеризуются *светлотой, насыщенностью* и *цветовым тоном*.
- *Светлота* – это различимость участков, сильнее или слабее отражающих свет.
- *Насыщенность* цвета показывает, насколько данный цвет отличается от монохроматического («чистого») излучения того же светового тона. Насыщенность позволяет отличать розовый от красного, голубой от синего.
- *Цветовой тон* позволяет различать основные цвета, такие, как красный, зеленый, синий.

# *Цветовая модель –*

способ цифрового кодирования  
ЦВЕТОВ.





красный

зеленый

синий



Red

Green

Blue

RGB

0..255

24 бит

16,7 млн.



( 0, 0, 0)

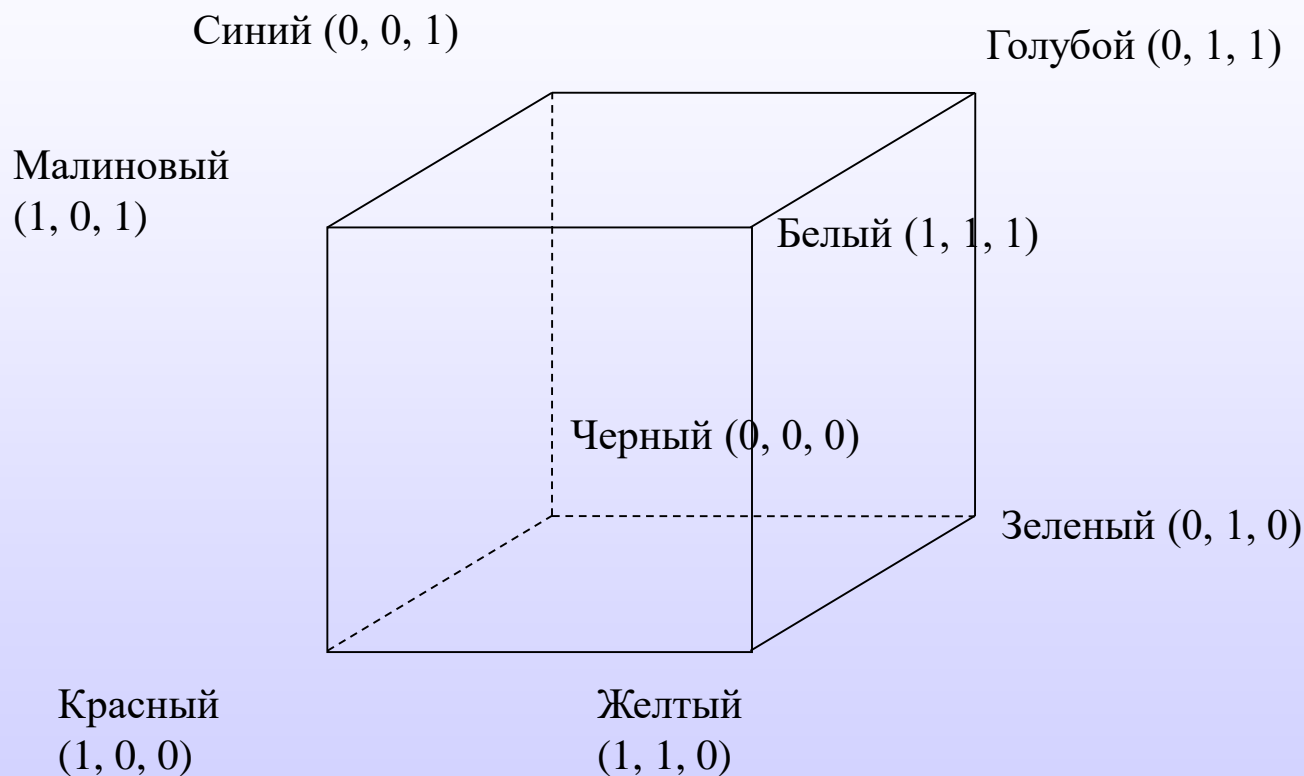


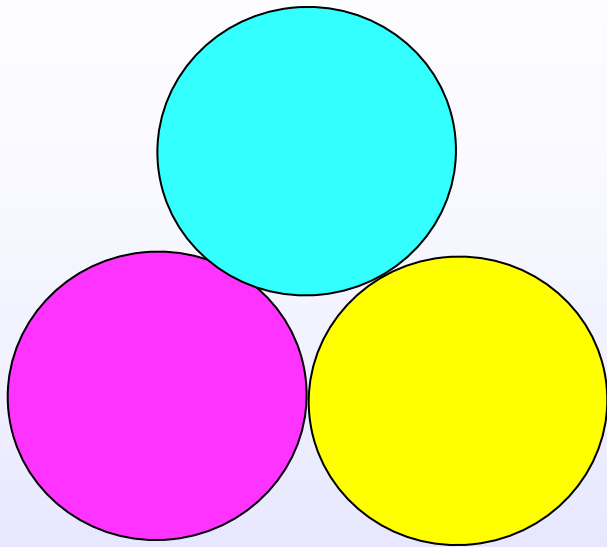
( 255, 255, 255)



( 100, 0, 100)

# Цветовое пространство RGB





голубой  
розовый  
желтый



Cyan  
Magenta  
Yellow

CMYK

0..255



( 0, 0, 0)

24 бит



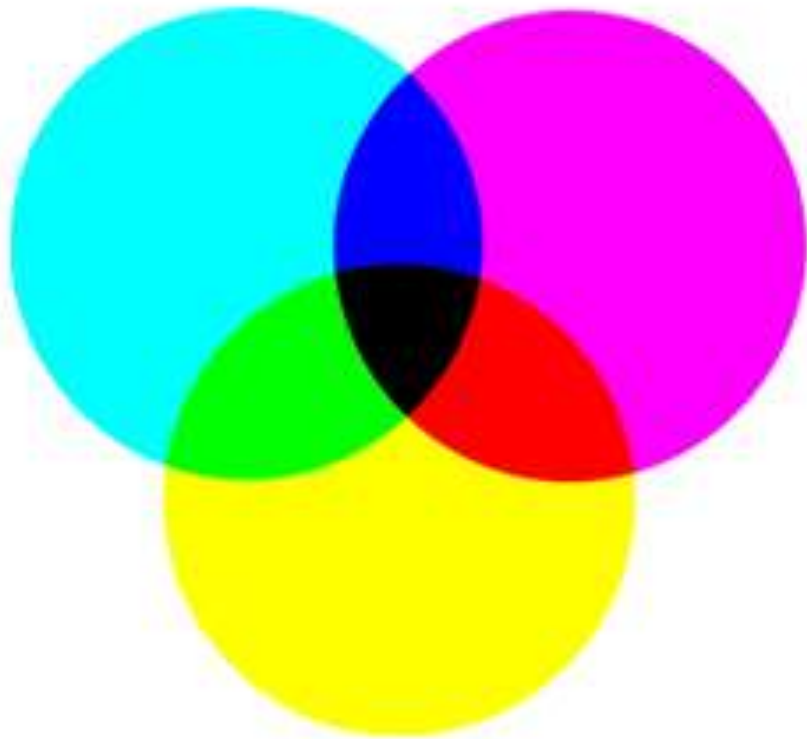
( 255, 255, 255)

16,7 млн.

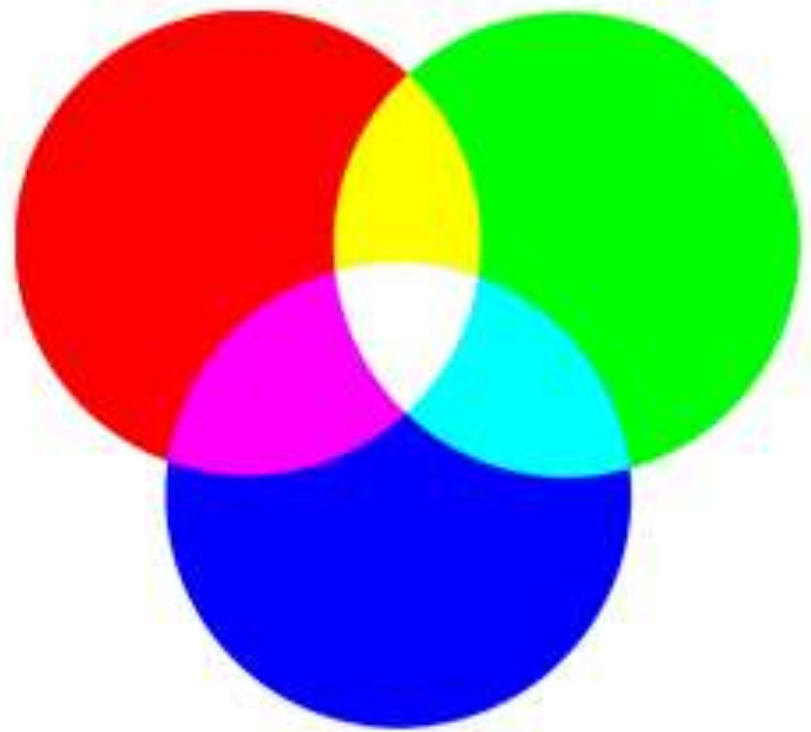


( 100, 0, 100)

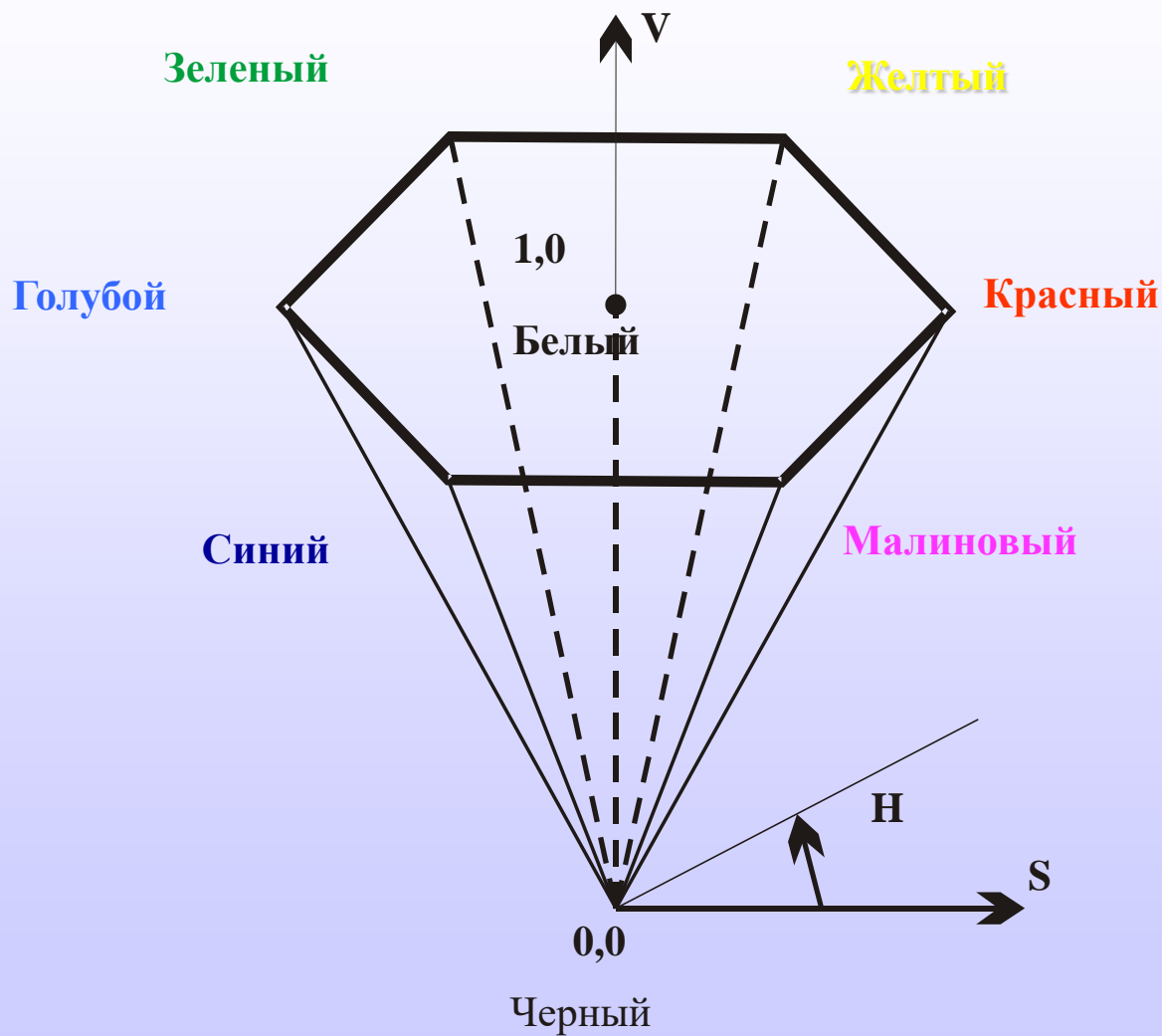
**CMYK**



**RGB**



# HSV модель





# Цветовой круг

**Цветовой круг (Color wheel)** — способ представления непрерывности цветовых переходов (в том числе и для модели HSB).

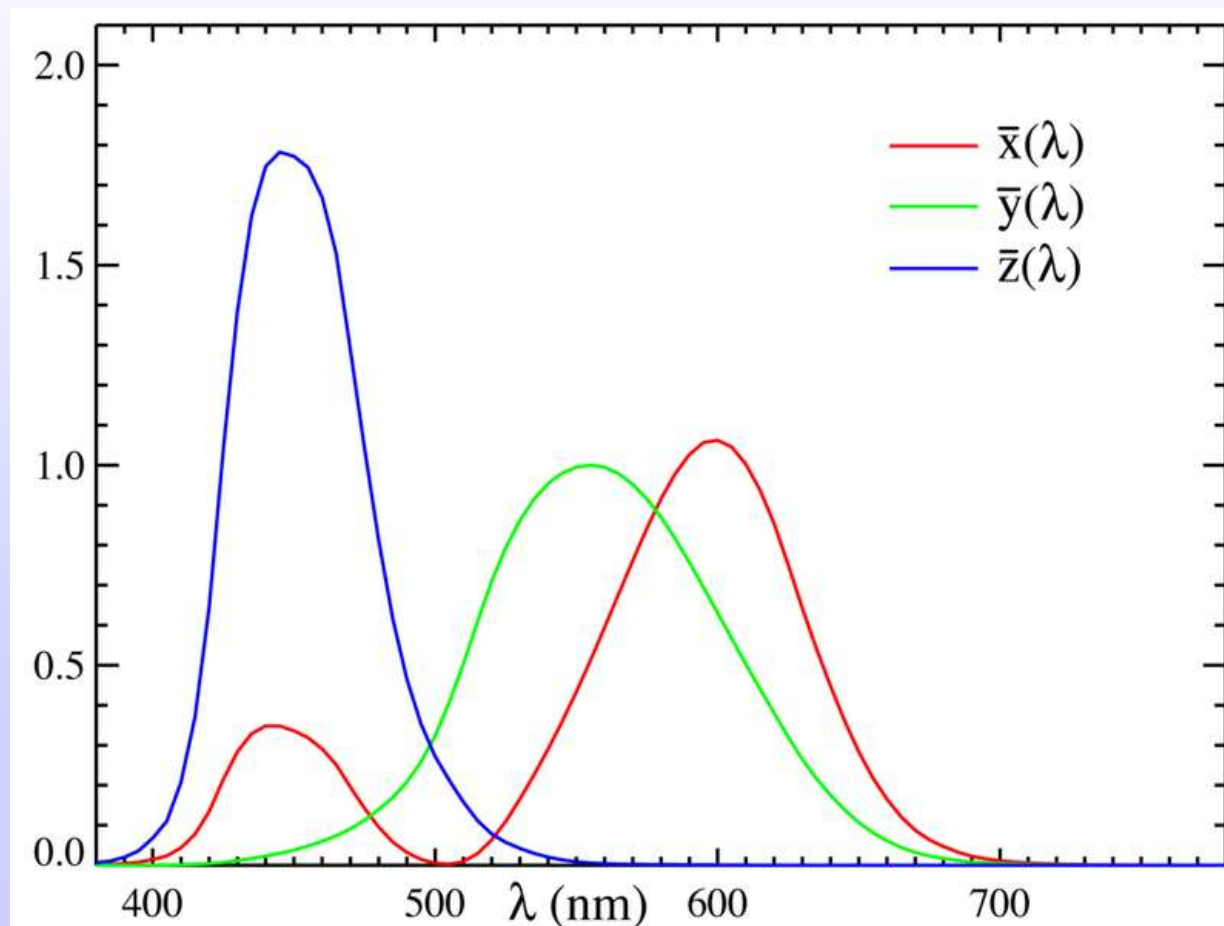
В цветовом круге на равном расстоянии друг от друга расположены чередующиеся первичные и вторичные цвета. Сложение двух основных цветов дает дополнительный цвет, расположенный между ними.

При смешении двух дополнительных цветов получается основной цвет, лежащий между ними.



# XYZ модель

CIE XYZ — линейная 3-компонентная цветовая модель, основанная на результатах измерения характеристик человеческого глаза.



# Модель $xY$ – нормированный вариант модели $XYZ$

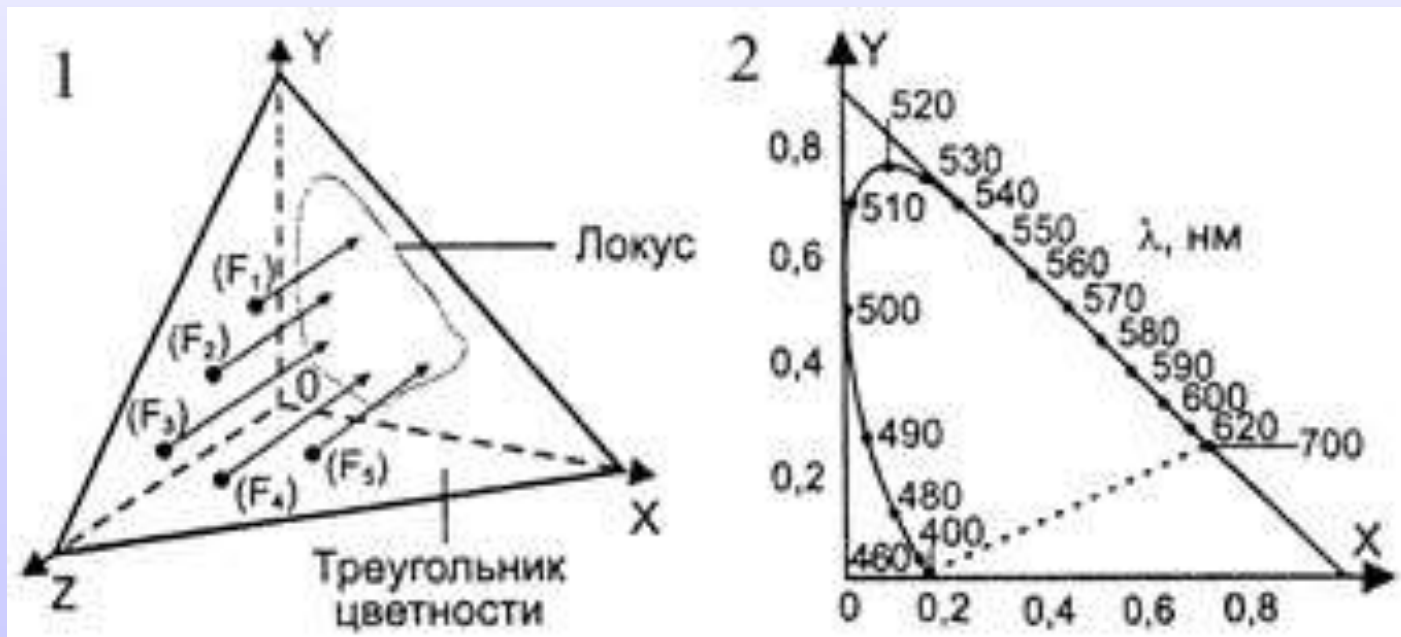
В  $xY$  введены нормированные значения цветных координат:

$$x = X/(X + Y + Z),$$

$$y = Y/(X + Y + Z),$$

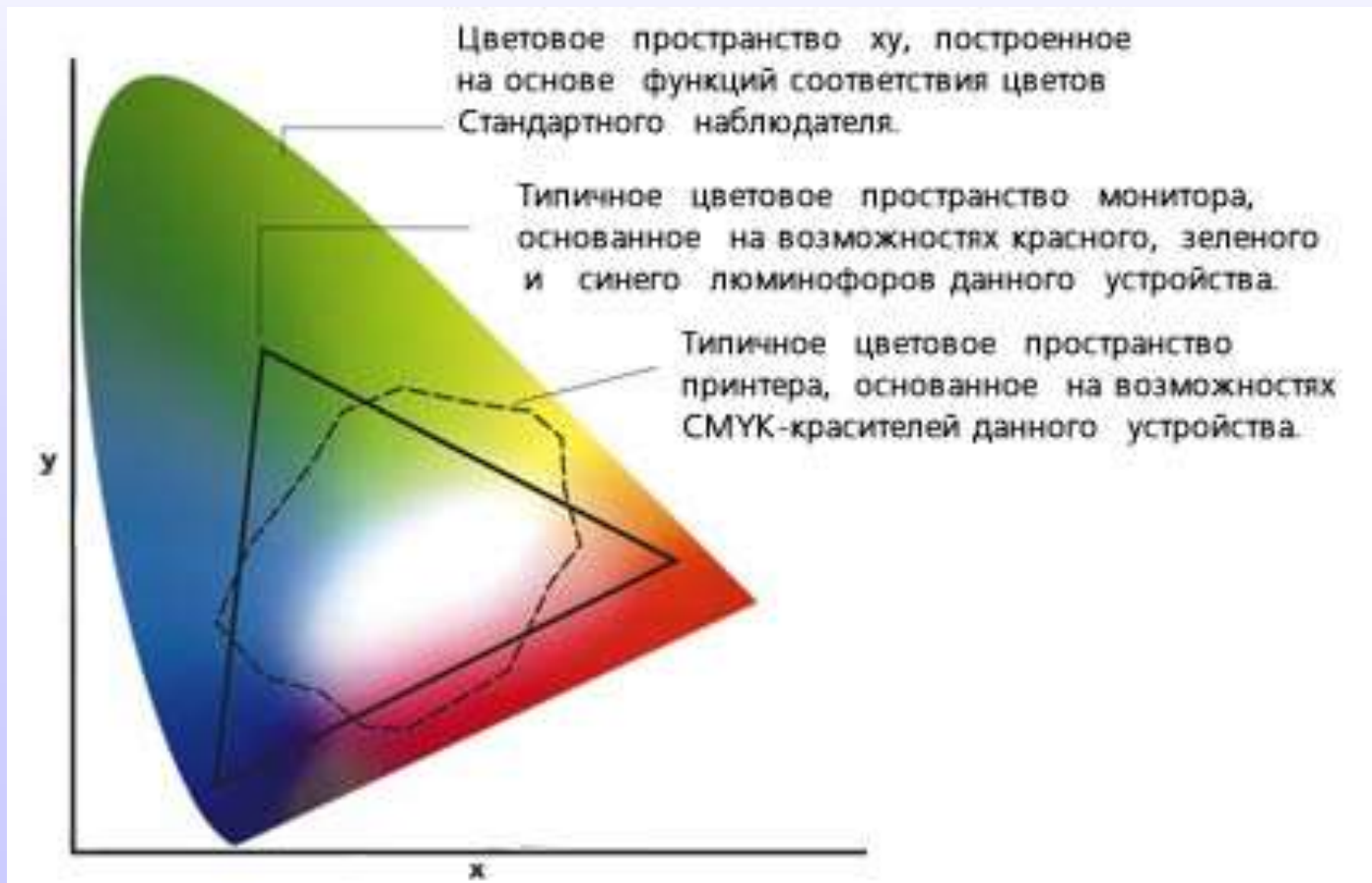
$$z = Z/(X + Y + Z),$$

где  $x + y + z = 1$ .



# Локус и гамут

В координатах  $xu$  принято изображать *цветовой охват глаза (локус)*, включающий все наблюдаемые цвета. *Цветовые охваты (gamut)* всех реальных *устройств*, используемых в технологии работы с цветом, находятся внутри этого локуса.





10 x 15 см

300 dpi

3,9 x 5,9 дюйма

1170 x 1770 точек

= 2 000 000 точек

24 бит = 3 байт

2 000 000 x 3 = 6 Мб

# Системы управления цветом Color management system (CMS)

CMS - аппаратно независимая система управления цветом, обеспечивающая передачу изображения от одного этапа обработки к следующему с минимальными потерями информации о цвете.

- CMS контролирует преобразование между представлением цвета различными устройствами (мониторами, цифровыми камерами, сканерами, принтерами и т.д.)

# Параметры CMS

- **Цветовая охват устройства**
- **Профиль (Color Profile)** - это подробное описание цветовоспроизводящих свойств данного устройства. **Профиль** описывает различие в представлении цвета между устройством и определенной цветовой моделью.
- **Калибровка** – средства настройки конкретного экземпляра в соответствии с требованиями профиля ICC.

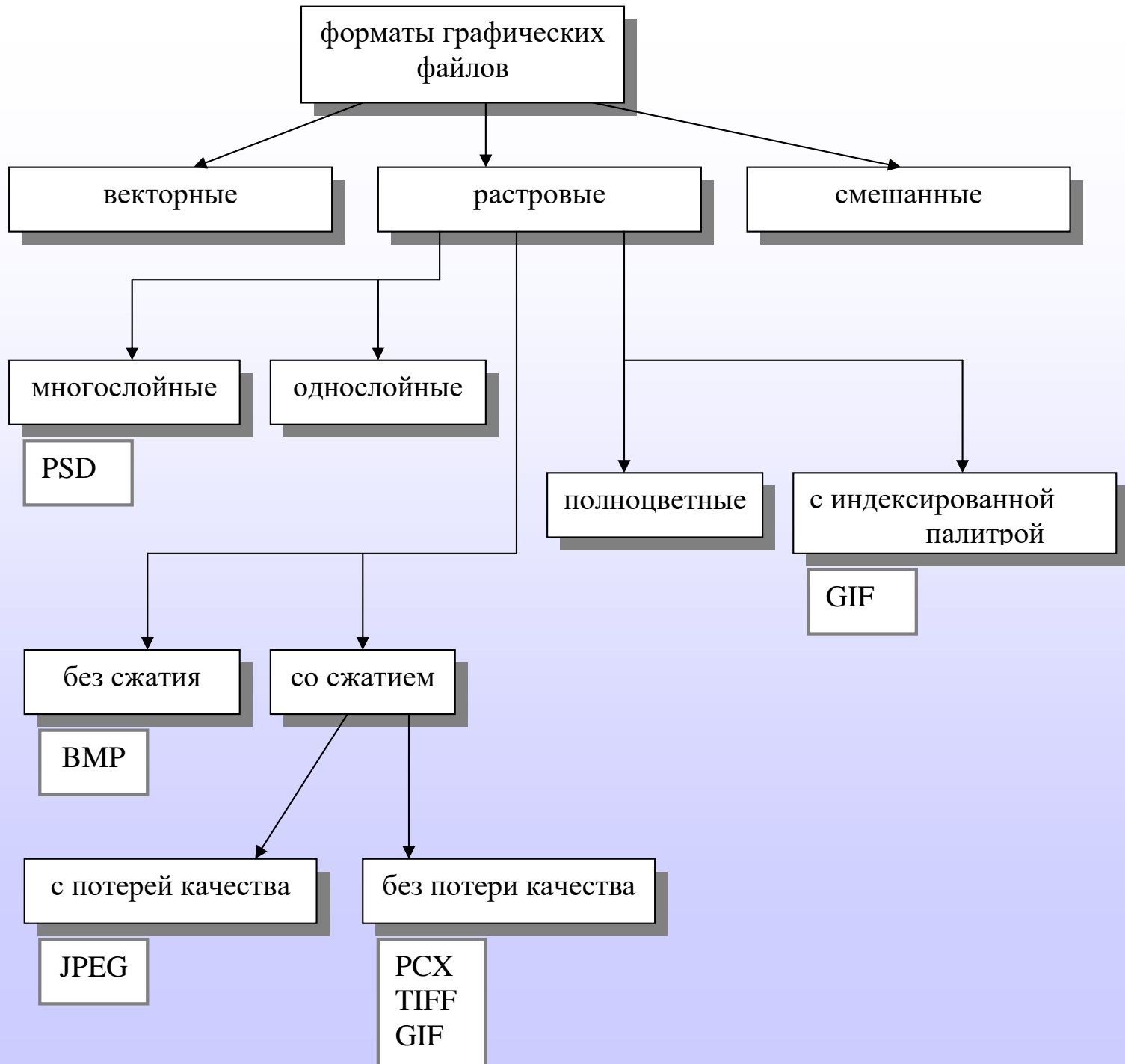
[www.color.org](http://www.color.org) Сайт ICC (International Color Consortium)

# Принципы работы CMS

- любой цвет имеет координату в цветовой координатной системе;
- профайл устройства несет информацию о цветовоспроизводящих свойствах данного устройства;
- визуализация цифровых изображений всегда строится на принципе пересчета аппаратных данных источника (чаще устройства оцифровки) в цифровые координаты, а из них в аппаратные данные того устройства, на котором предполагается окончательная визуализация (тиражирование).







# Форматы растровых графических файлов:

BMP - используется для работы с продуктами фирмы Microsoft.

TIFF - используется при сохранении отсканированного изображения, при подготовке к печати.

JPEG - используется для сохранения изображений, предназначенных только для просмотра на экране, представления фотографий на Web-страницах.

GIF - используется для представления на Web-страницах простых картинок и анимации.

# **BMP (Bitmap Picture)**

Глубина цвета: 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32, 48 бит

Максимальные размеры изображения: 65535 x 65535

Поддержка алгоритма RLE (алгоритм кодирования повторов)

Поддерживаемые расширения: .bmp, .dib и .rle

Поддержка полноцветных и индексированных изображений

**Поддерживается RLE сжатие**

# RLE (Run Length encoding)

**Кодирование длин серий** — алгоритм сжатия данных, который оперирует сериями данных, то есть последовательностями, в которых один и тот же символ встречается несколько раз подряд. При кодировании строка одинаковых символов, составляющих серию, заменяется строкой, которая содержит сам повторяющийся символ и количество его повторов.

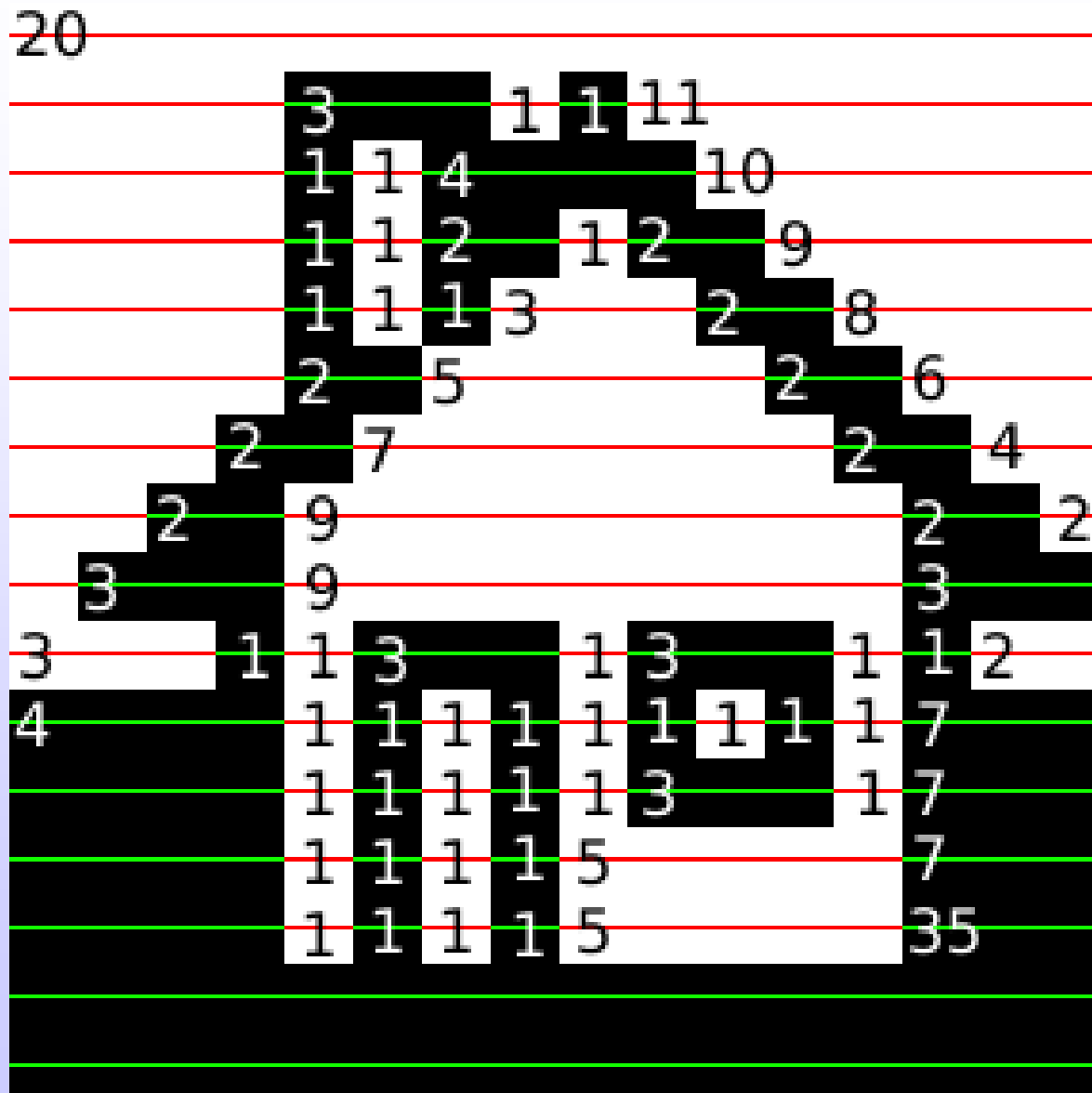
Исходная строка:

WWWWBWWWWBWBWWWW

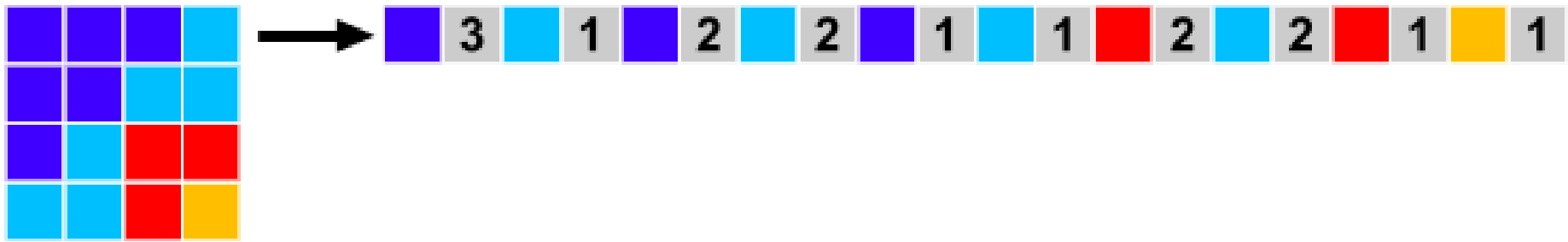
Результат:

4W1B4W3B4W1B4W

# Пример RLE кодирования

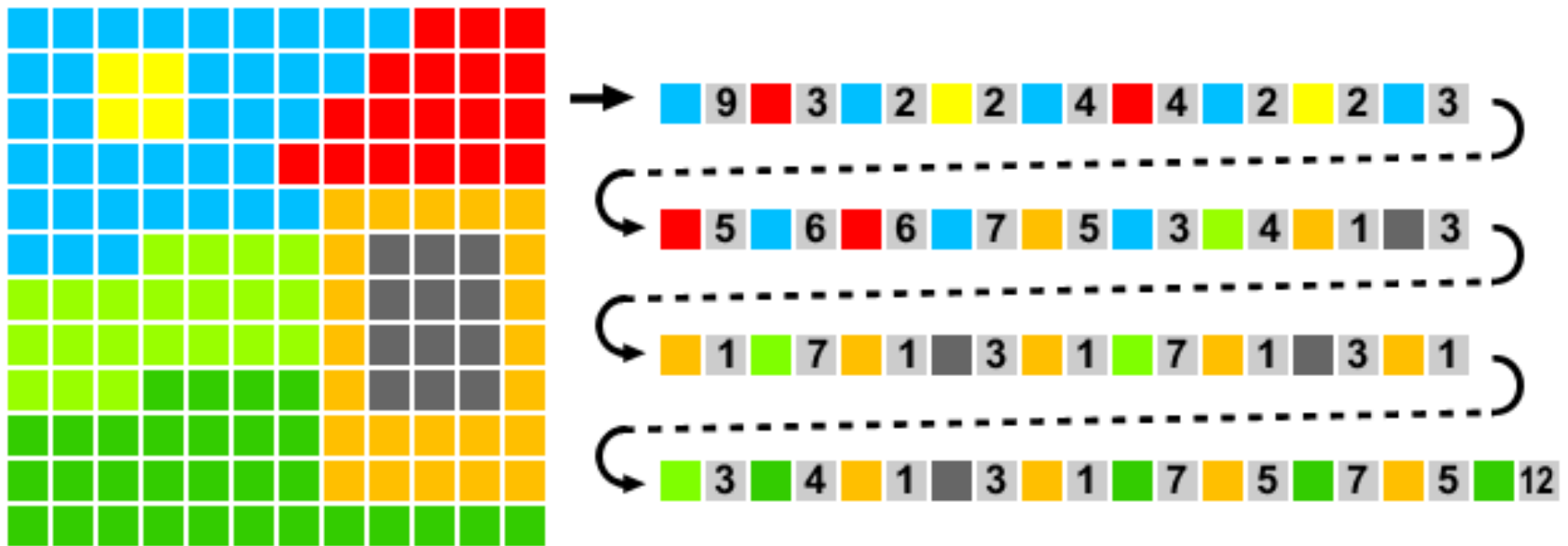


# Увеличение размера на 25% при RLE



Исходное изображение – 16 байт, при использовании RLE кодирования получаем 20 байт. Коэф. сжатия - 125%

# Уменьшения размера в 2 раза при RLE



Исходное изображение – 144 байта, при использовании RLE кодирования получаем 74 байта. Коэф. сжатия - 51%

# TIFF (Tagged Image File Format)

Глубина цвета: 8, 16, 32, 64 бит при целочисленном кодировании  
32, 64 бита при использовании чисел с плавающей точкой

Алгоритмы сжатия: **LZW, RLE, ZIP, LZ77, JBIG, Jpeg-LS**

Цветовые модели: **RGB, CMYK, YCbCr, CIE Lab**

Поддержка полноцветных и индексированных изображений

Алгоритм Лемпеля — Зива — Велча (Lempel-Ziv-Welch, LZW) — это универсальный алгоритм сжатия данных без потерь данных.

LZW-сжатие заменяет строки символов некоторыми кодами. Это делается без какого-либо анализа входного текста. Вместо этого при добавлении каждой новой строки символов просматривается уже существующая таблица строк. Сжатие происходит, когда код заменяет строку символов.



# Пример LZW кодирования

**Without LZW  
compression**

- Color #1  
is 0,0,0 (black)
- Color #2  
is 243,92,35 (orange)

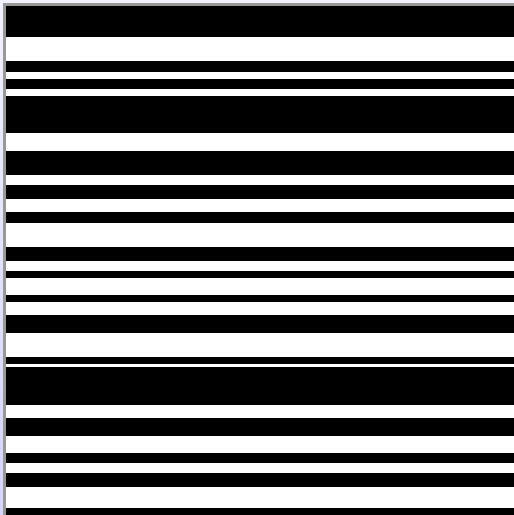


**With LZW  
compression**

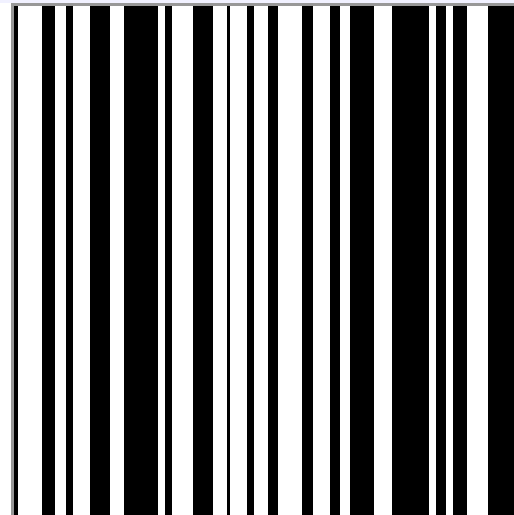
- Color #1  
is 0,0,0 (black)
- Color #2  
is 243,92,35 (orange)



# LZW для горизонтальных и вертикальных последовательностей



150 x150px  
345 bytes



150 x150px  
2,096 bytes

# GIF (Graphics Interchange Format)

Поддержка индексированных изображений

Палитра ограничена 256 цветами

Алгоритмы сжатия: **LZW**

Поддержка анимации, чересстрочных изображений (interlaced)

# Индексированная палитра

**Палитра** — ограниченный набор цветов, который позволяет отобразить графическая система компьютера.

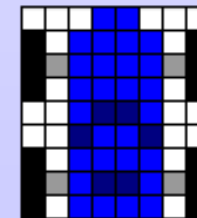
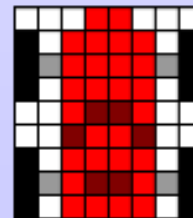
## Принцип действия:

Из широкого цветового пространства выбираются любые  $N$  цветов, и их координаты (обычно:  $R$ ,  $G$  и  $B$ ) хранятся в специальной таблице — **палитре**. Данные растровой графики, использующие палитру, представляют собой массив, где хранятся номера (индексы) цветов в палитре.

0	0	0	1	1	0	0	0
3	0	1	1	1	1	0	3
3	4	1	1	1	1	4	3
3	0	1	1	1	1	0	3
0	0	1	2	2	1	0	0
0	0	2	1	1	2	0	0
3	0	1	1	1	1	0	3
3	4	1	2	2	1	4	3
3	0	1	1	1	1	0	3

0	
1	
2	
3	
4	

0	
1	
2	
3	
4	



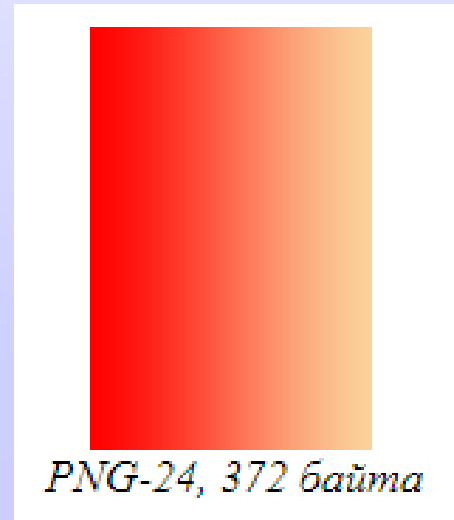
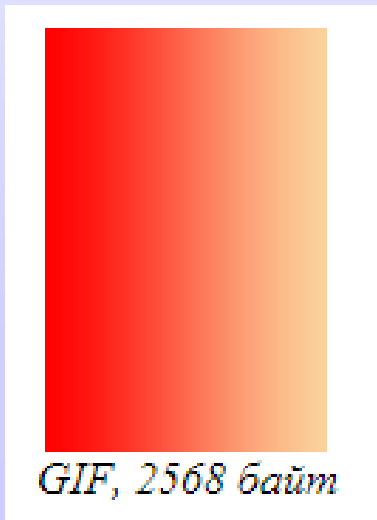
# PNG (portable network graphics)

- Полутоновое изображение (16 бит);
- Цветное индексированное изображение (палитра 8 бит для цвета глубиной 24 бит);
- Полноцветное изображение (48 бит).

Алгоритм сжатия: *Deflate* (в отличие от LZW хорошо сжимает не только одноцветные горизонтальные области)

Поддержка *альфа-канала* (частичная прозрачность)

[\\*http://www.w3.org/TR/PNG/](http://www.w3.org/TR/PNG/)



# JPEG (Joint Photographic Experts Group)

Разработан для сжатия полноцветных 24-битовых изображений

Этапы сжатия:

1. Преобразование изображения из RGB в модель YUV, основанной на характеристиках яркости и цветности
2. Изображение разделяется на квадратные участки размером 8x8 пикселей. После этого над каждым участком производится дискретное косинус-преобразование
3. Изображение представляется строками чисел, которые сжимаются по алгоритму Хаффмана

Можно сказать, что JPEG хранит скорость изменения цвета от пикселя к пикселю. Лишнюю с его точки зрения цветовую информацию он отбрасывает, усредняя некоторые значения. Чем выше уровень компрессии, тем больше данных отбрасывается и тем ниже качество

# Пример потери качества в JPEG



# Кодирование по Хаффману

Идея алгоритма состоит в следующем: зная вероятности символов в сообщении, можно описать процедуру построения кодов переменной длины, состоящих из целого количества битов.

Символам с большей вероятностью (которые встречаются чаще) ставятся в соответствие более короткие коды.

Коды Хаффмана обладают свойством префиксности (т.е. ни одно кодовое слово не является префиксом другого), что позволяет однозначно их декодировать.



# Пример кодирования по Хаффману



Цвет	Частота	Код Хаффмана
	8	0
	4	10
	3	110
	1	111

0 0 110 0 0 1	10 0 10 10 0	0 110 0 10 1	0 111 ...
Байт 1	Байт 2	Байт 3	Байт 4

Полученный файл размером 28 бит = 3,5 байта. Сжатие до 21,8% от исходного.

# Raw форматы

RAW— формат данных, содержащий необработанные (или обработанные в минимальной степени) данные, что позволяет избежать потерь информации.

RAW-файл не предназначен для непосредственной визуализации (без предварительной конвертации).

## **Достоинства:**

- Гораздо больше полутонов за счёт большего числа бит в цифровом представлении
- Цветовой охват RAW включает все воспринимаемые камерой цвета
- Возможность некоторой коррекции экспозиции после съёмки.
- Возможность коррекции баланса белого, контраста, насыщенности, яркости и уровня, как если бы соответствующие настройки были установлены при фотографировании.
- Возможность коррекции недостатков объектива

## **Недостатки:**

- Формат представлен множеством несовместимых видов
- Большой объем файлов
- Использовать RAW-файл напрямую для печати, как правило, невозможно

# Расширения файлов RAW-изображений

.dng — Adobe

.arw,.srf,.sr2 — Sony

.bay — Casio

.crw,.cr2 — Canon

.dcr,.kdc — Kodak

.erf — Epson

.mrw — Minolta

.nef,.nrw — Nikon

.orf — Olympus

.raf — Fujifilm

.raw .rw1 .dng — Leica

.raw,rw2 — Panasonic

.ptx,.pef — Pentax

.srw — Samsung

# ПО компьютерной графики

## Растровые графические редакторы:

- Adobe Photoshop
- Corel PhotoPaint
- GIMP

## Векторные графические редакторы:

- Corel Draw
- Adobe Illustrator
- Macromedia Freehand
- Inkscape

# ПО компьютерной графики

- Настольные издательские системы (Desktop publishers (DTP)) - Adobe PageMaker, QuarkXPress
- Смешанные системы и имитаторы рисования – Corel Xara, Fractal Design Painter
- Векторизаторы – Adobe StreamLine
- Средства 3D графики – 3D Max Studio
- Средства САПР – AutoCAD, CompassGraphic
- Графические библиотеки и стандарты – OpenGL, DirectX
- Графические расширения и встроенные средства редактирования
- ПО для создания анимации – MscromediaFlash, MS GIF Constructor
- Средства Web-дизайнера
- Средства редактирования видео