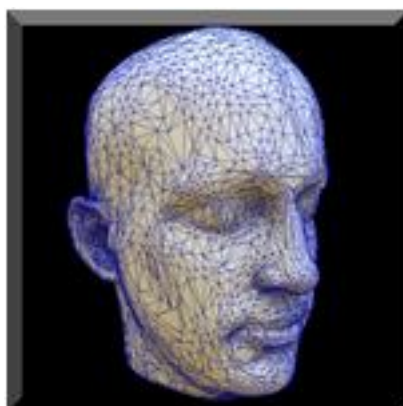




Введение в компьютерную графику





План лекции

- Организация курса и план лекций
- Основные понятия и история компьютерной графики
- Камера и глаз, свет и цвет



План лекции

- Организация курса и план лекций
- Основные понятия и история компьютерной графики
- Камера и глаз, свет и цвет



О курсе

- Структура курса
 - 14 лекций
 - 4 домашних задания (80% оценки)
 - Устный зачет (20% оценки)
 - Бальная система
 - Интернет-поддержка

- Страница курса будет на сайте:
<http://машграф.рф/>
<http://courses.graphics.cs.msu.ru>

Лектора



Алексей Игнатенко
ignatenko@graphics.cs.msu.ru



Антон Конушин
ktosh@graphics.cs.msu.ru



Алексей Лукин
lukin@graphics.cs.msu.ru



Юрий Матвеевич Баяковский
ymb@graphics.cs.msu.ru



Практические задания

- В течение курса выдаётся 4 практически задания
- Практическое задание -- это создание программы, решающей конкретно поставленную задачу по графике или обработке изображений.
- Задания соответствуют темам лекций, но часть информации дается в описании задания
- Задания выкладываются на веб-страницу в соответствии с расписанием
- Сдавать задания нужно через вебсайт (на личной странице)



Время выполнения заданий

- Время выполнения – две недели
- Перерыв между заданиями – неделя
- Первое задание после лекции №2



Выполнение задания

- Задание выполняется самостоятельно.
- Коллективное выполнение допускается только в случае явного указания факта коллективной работы в `readme.txt` работы каждого участника. В этом случае оценка делится на всех участников в равных долях.
- Исходные коды, бинарные файлы и данные выкладываются в виде архива со строгими требованиями к содержимому



Оценки за задание

- Задание состоит из:
 - Базовой части (15 баллов)
 - Несколько дополнительных заданий (максимальный бонус 5 баллов)
- Неправильно оформленные работы не проверяются
- Опоздавшие работы штрафуются по следующей схеме:
 - За опоздание на 1 день снимается 0,5 балла
 - За опоздание на 2 дня снимается 1 балл
 - За каждый день опоздания свыше 2-х дней снимается по 1 баллу
- **Плагат штрафуются -5 баллов**



Проверка работ

- Проверка работ занимает длительное время – от 3х недель и более
- Проверяются последняя из версий программы, присланных в срок.
- Если в срок программы не присланы, проверятся первая из версий, присланных с опозданием.
- Только в случае проблем проверяются другие версии.
- Добавление функциональности запрещено в новых версиях



Собеседование и апелляция

- После проверки работ назначается время и место, когда желающие могут оспорить оценку
- Часть людей принудительно вызывается на собеседования для ответов на вопросы по исходному коду программы и реализованным алгоритмам



Выставление оценки

- Зачёт устный
 - На зачёте выдается 4 вопроса
 - Каждый вопрос оцениваются 5 баллами
 - Максимальная оценка – 20 баллов
- Все баллы за задания и зачёт суммируются
- На зачёт нужно получить >55 баллов из 100
 - 4 задания на базу (60 баллов)
 - 3 задания с бонусами (60 баллов)
 - 3 задания в базе и зачёт
 - 2 задания с бонусами (из первой и второй половины курса) и зачёт



Интернет-система

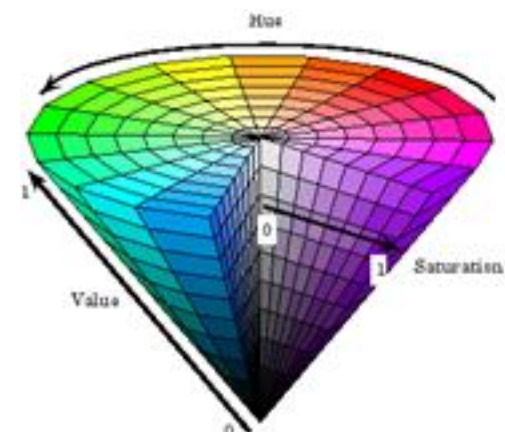
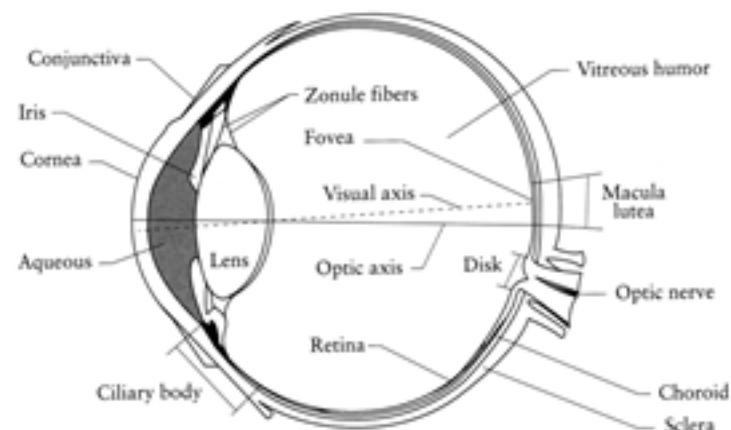
- Задания нужно сдавать через вебсайт курса
- Для регистрации нужно зайти на сайт, зарегистрироваться, выбрать курс, указать свою группу, и указать кодовое слово
- Пароль:
- **Запишите, на сайте пароля не будет**
- Если Вы уже были зарегистрированы, сначала надо залогиниться, затем заходить на страницу регистрации



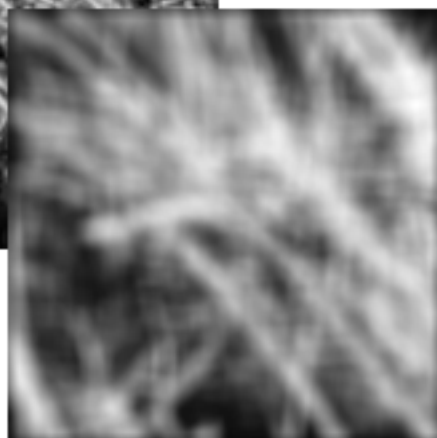
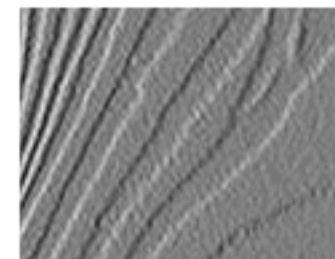
План курса

- Введение. Свет и цвет.
- Обработка изображений и цифровая обработка сигналов.
- Распознавание изображений.
- Геометрическое моделирование.
- Синтез изображений с помощью растеризации. OpenGL
- Локальное и глобальное освещение.
- Программируемая графическая аппаратура.

Камера. Глаз. Цвет.

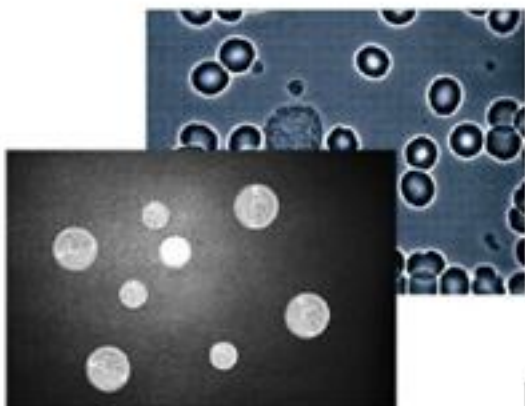
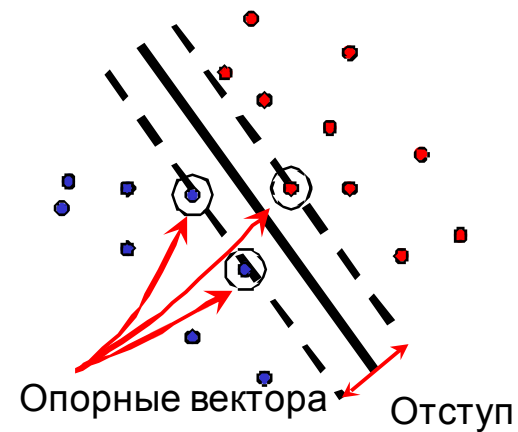
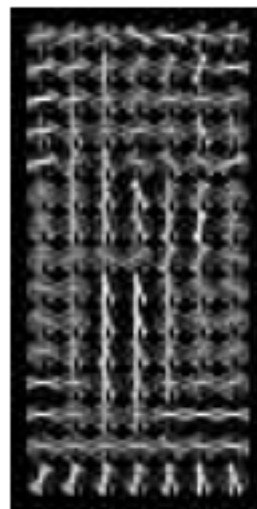
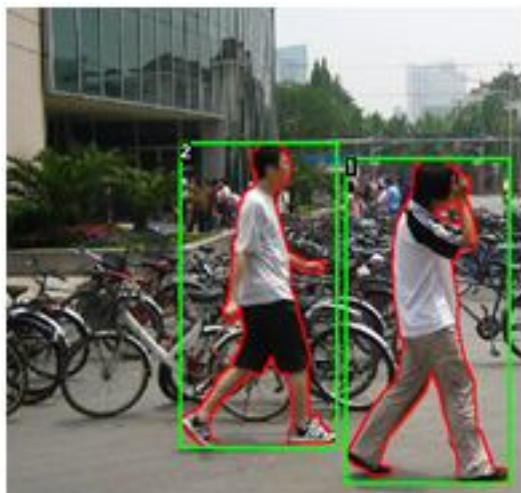


Обработка изображений

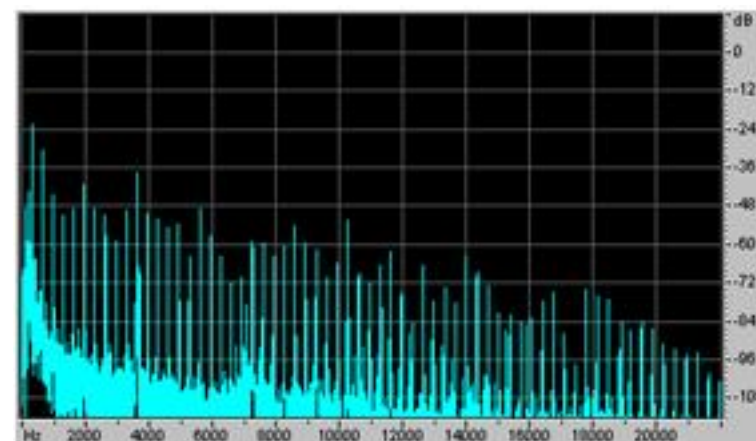
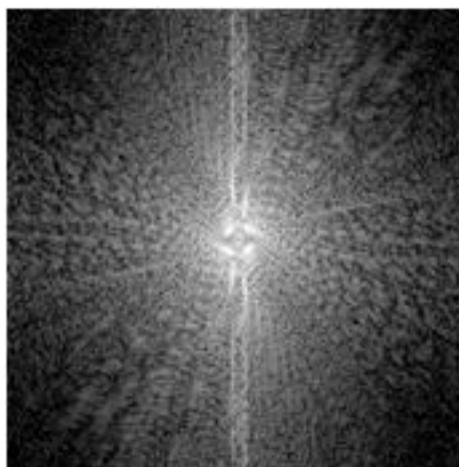
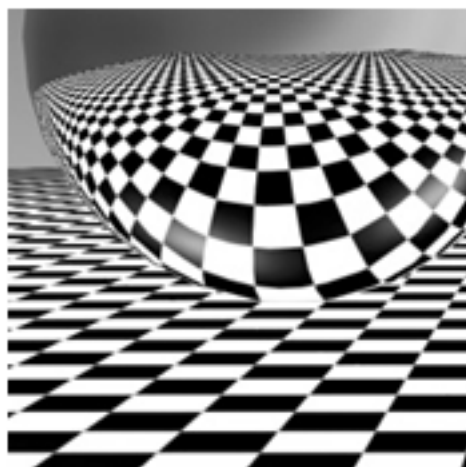
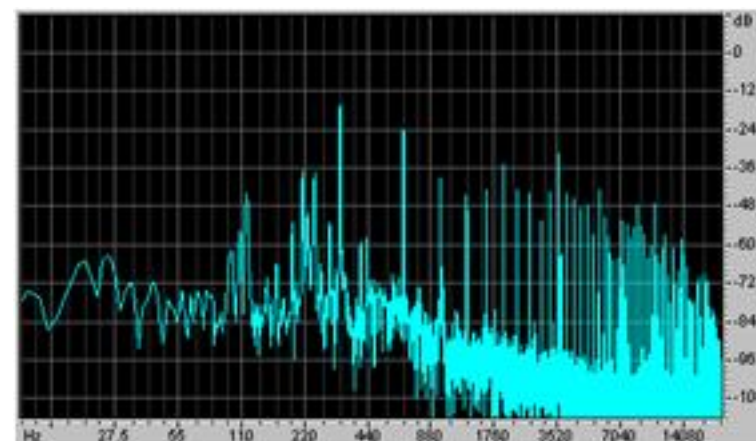
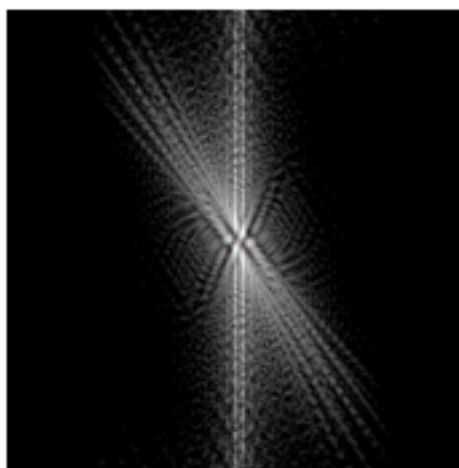
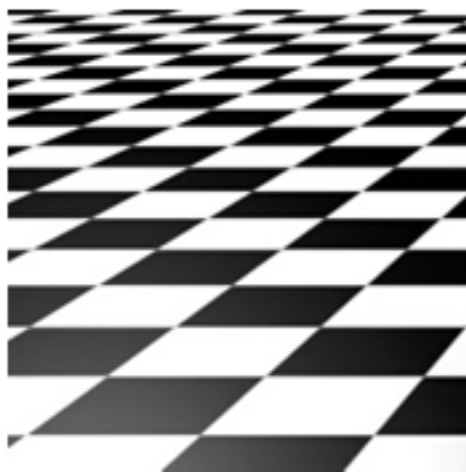




Распознавание изображений

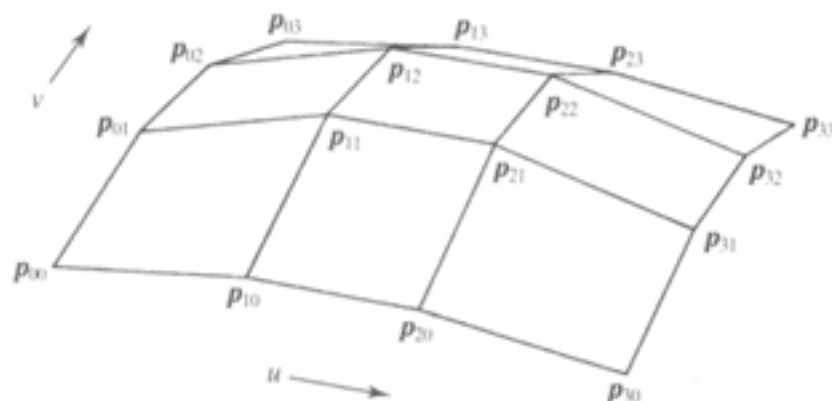


Основы цифровой обработки сигналов

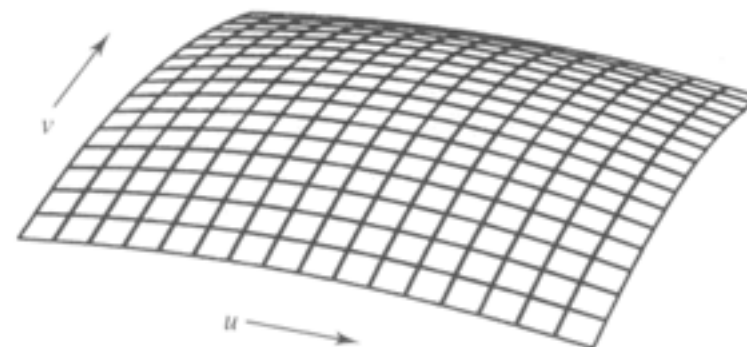




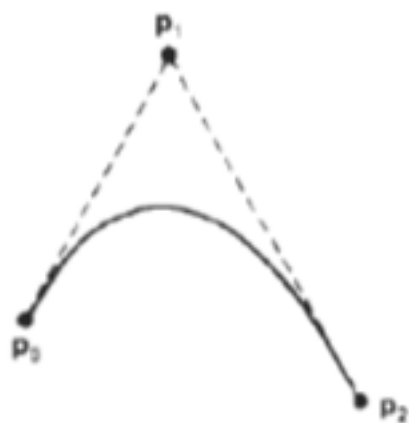
Прямые. Кривые. Поверхности.



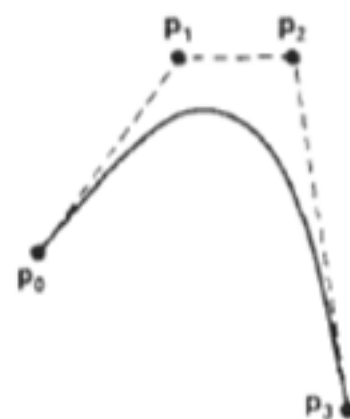
(a)



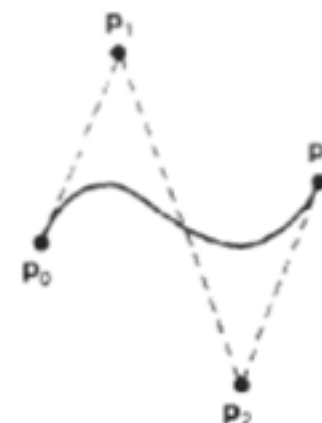
(b)



(a)



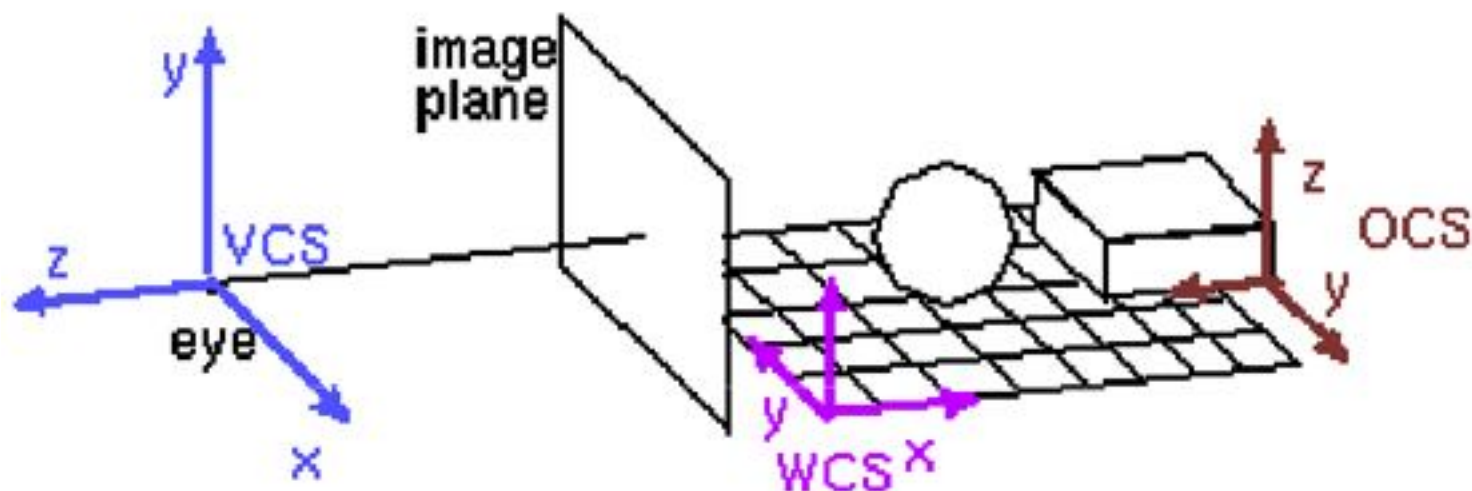
(b)



(c)



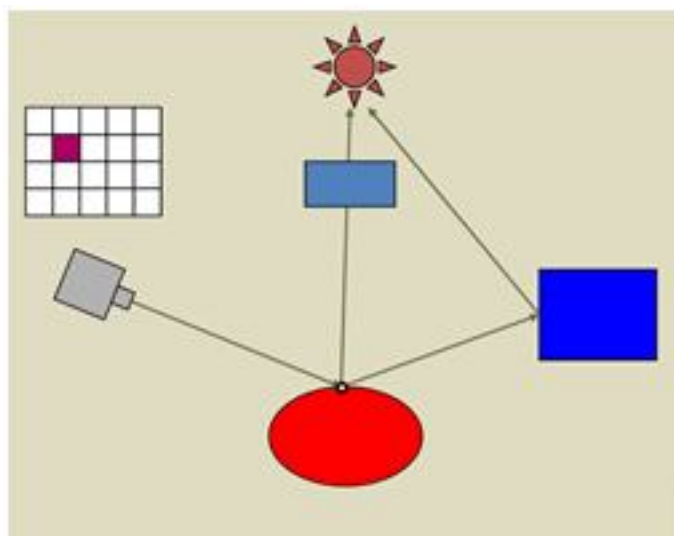
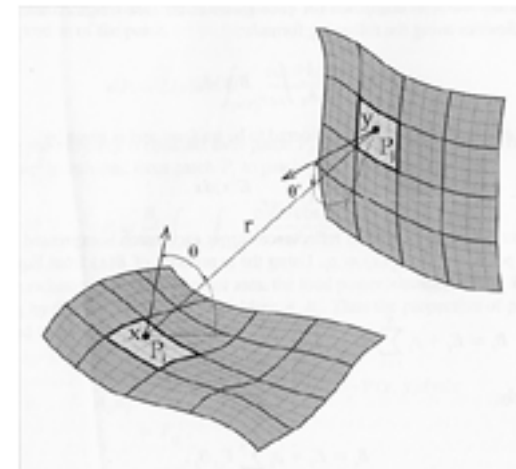
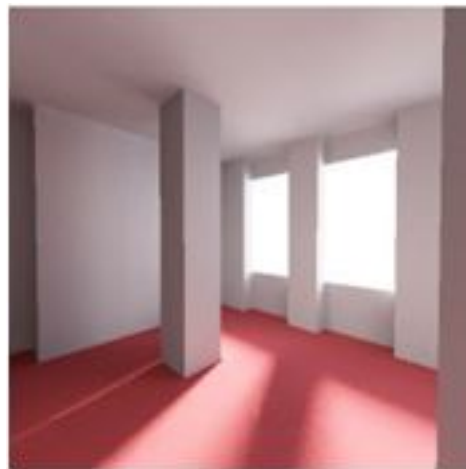
Растеризация с OpenGL 3.0



- Графический процесс
- Модели освещения
- Удаление невидимых поверхностей
- Программируемая графическая аппаратура
- Текстурные и вершинные «шейдеры»

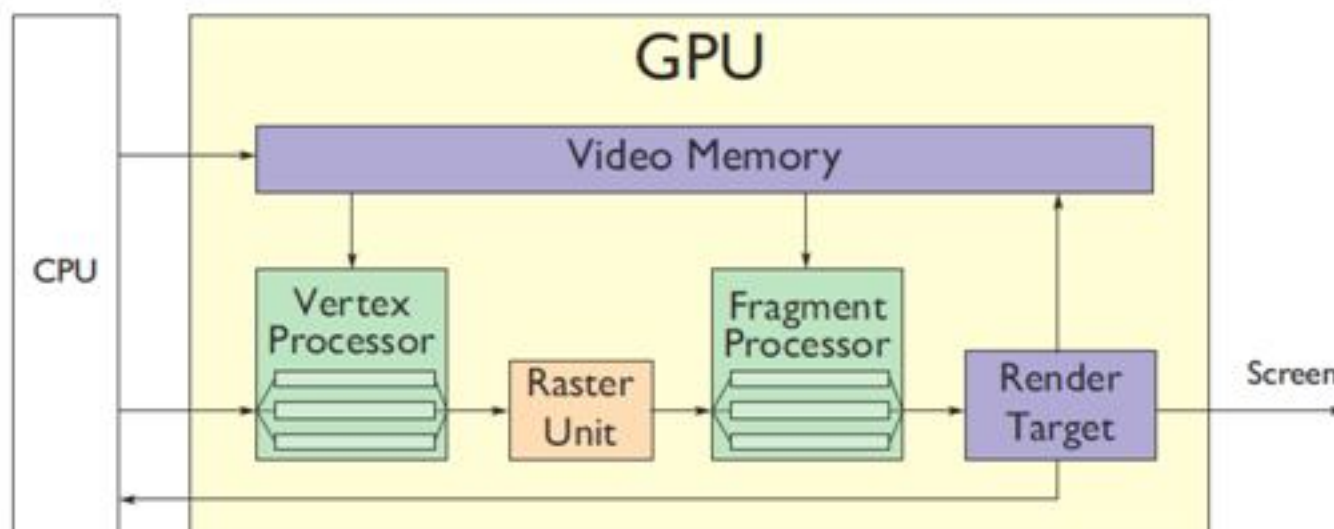


Трассировка лучей. Метод излучательности.





Программируемая графическая аппаратура





План лекции

- Организация курса и план лекций
- Основные понятия и история компьютерной графики
- Свет и цвет



Выделяемые области

- Обработка изображений
- Компьютерное (машинное) зрение
- Компьютерная (машинная) графика



Основные области

Изображение

Обработка изображений *Image Processing*

Изображение

Компьютерное (машинное) зрение *Computer (Machine) Vision*

Модель (Описание) / Некоторый вывод

Компьютерная (машинная) графика *Computer Graphics*

Изображение

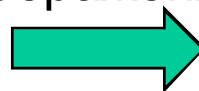


Основные области



изображение

Обработка
изображений

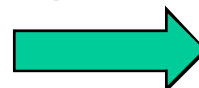


изображение



изображение

Распознавание
изображений



Компьютерное
зрение



модель

модель



визуализация



Компьютерная
графика



изображение



История: Камера-обскура



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

“Magic Lantern”, 1492



Figure 1. Leonardo da Vinci.



Первая фотография



Самая первая фотография
1825 год



Figure 5. J. N. Niepce.

Требовала 8 часов проявки



Фотограмметрия



Figure 6. Jacques Daguerre.

1837 – первые практически применимые фотографии

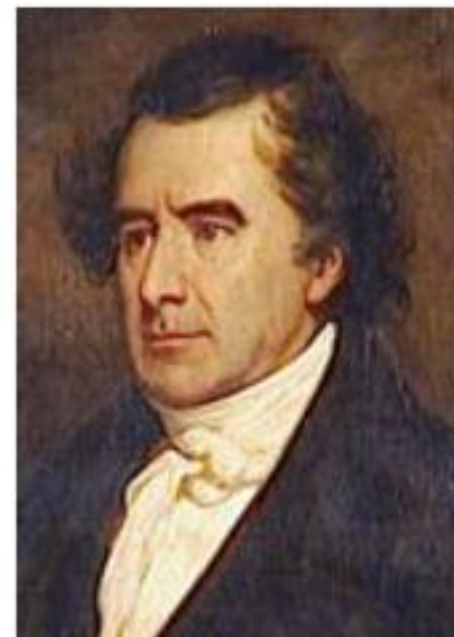


Figure 8. Dominique François Jean Arago.

1840 – «Фотограмметрия – будущее геодезии»

Видео



1878 – первая скоростная
съемка, Eadweard Muybridge



1888 – первое кино на плёнке,
Louis Le Prince



1896: Стереοфотограмметрия



Figure 17. Edouard Deville.

Стереοкамера и
теодолит

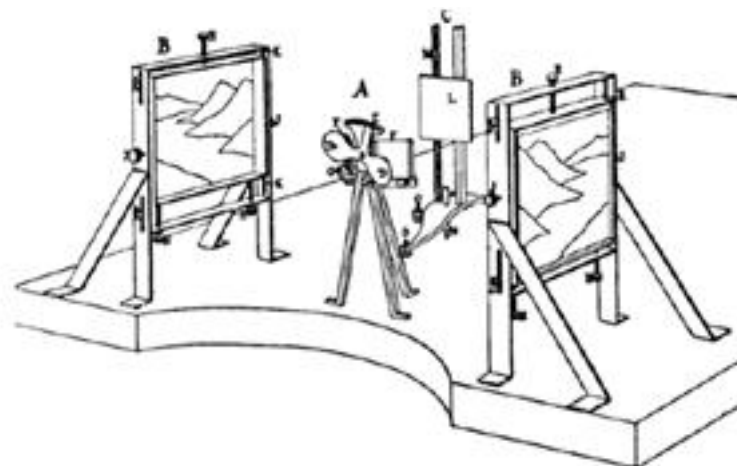


Figure 18. Deville's Stereo Planigraph.

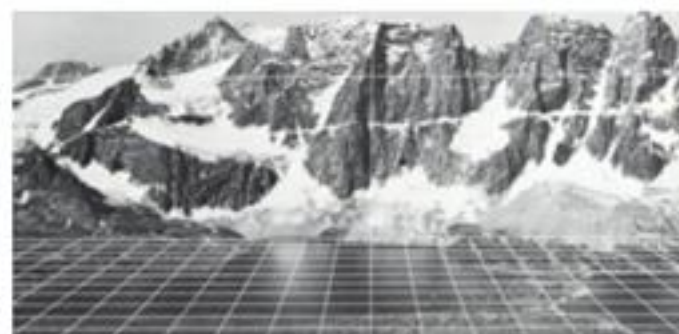
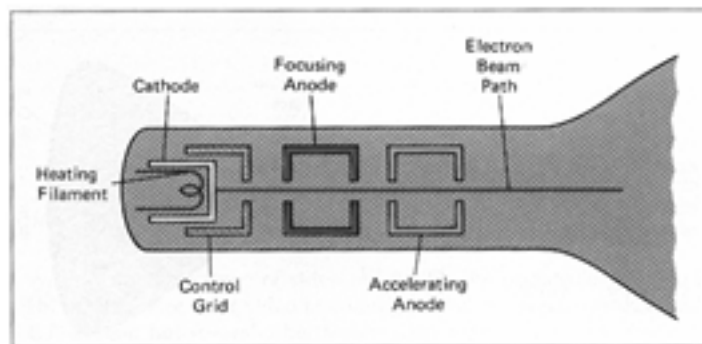


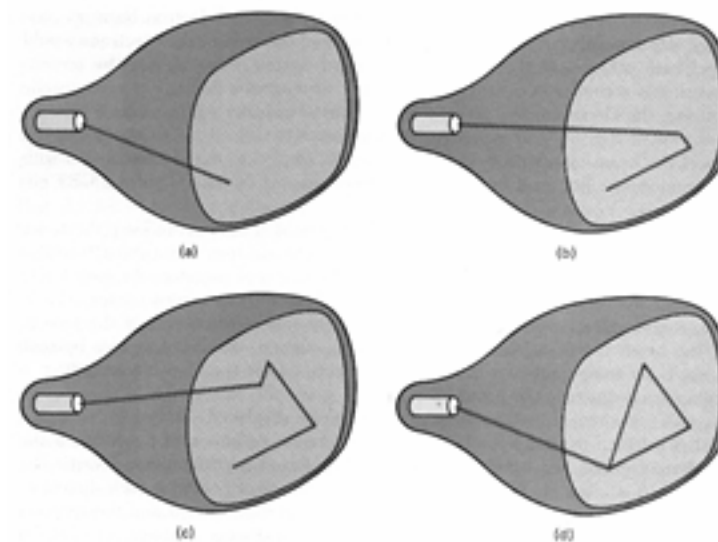
Figure 19. Illustration of the Canadian Grid Method used by Deville.



Электронно-лучевая трубка(CRT)



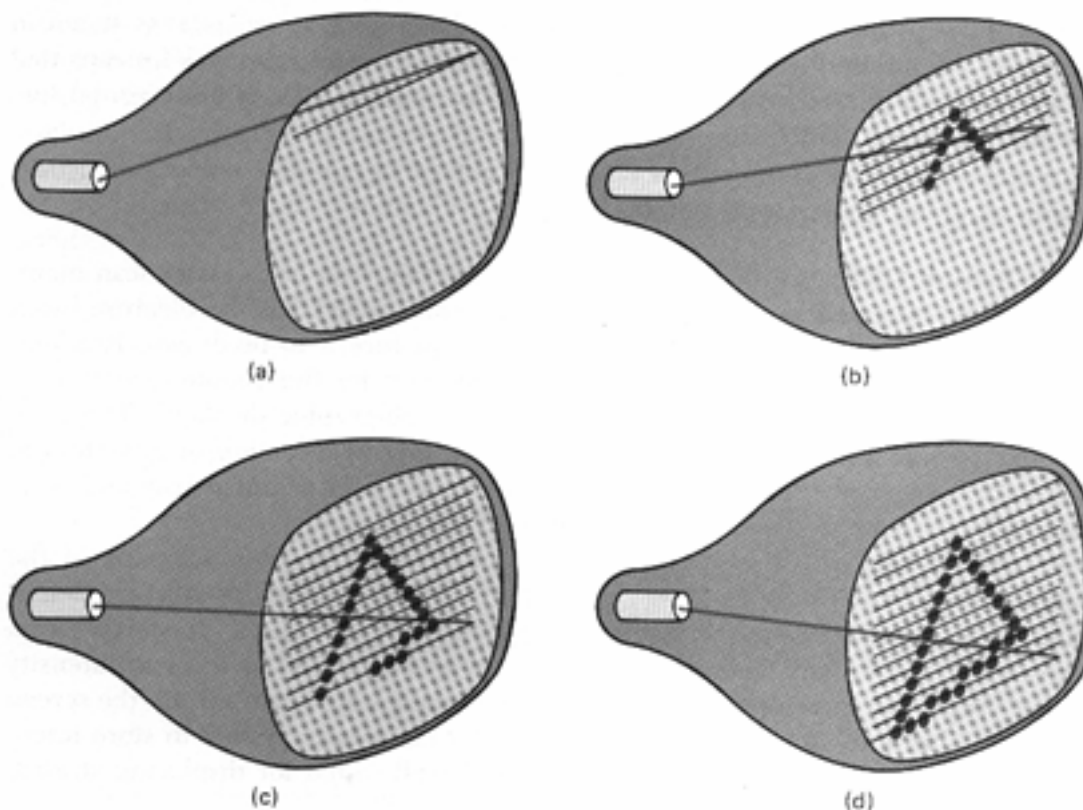
1885 – изобретение CRT



1897 – CRT с
флуоресцентным
экраном



Растровый дисплей – 1927 год



Philo Farnsworth – 60-строчный растровый дисплей



Whirlwind, MIT, 1951



- Первый компьютер, отображающий текст и графику в реальном времени на мониторе
- Точками карту, значком самолёт.
- «Световое перо» для взаимодействия с экраном (запрос информации об объекте)



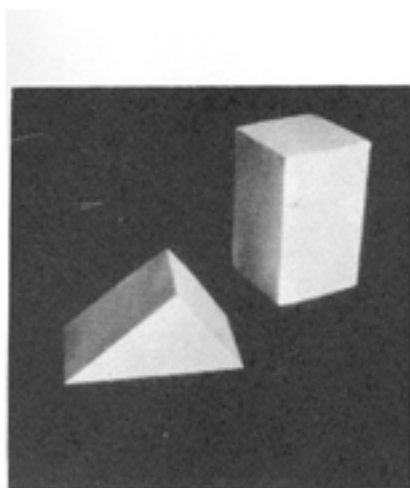
“The Boing man”, 1960



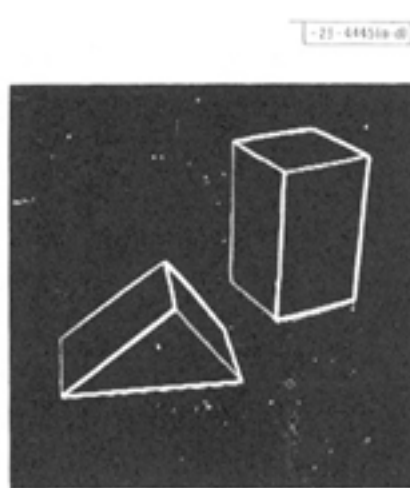
Первое компьютерное изображение человека



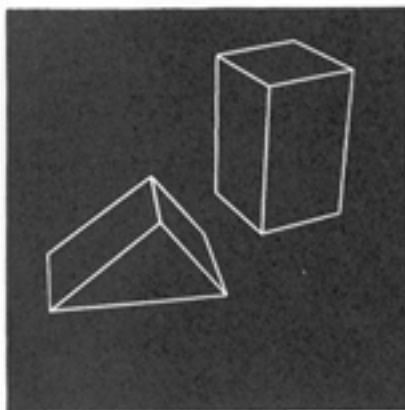
Зарождение компьютерного зрения



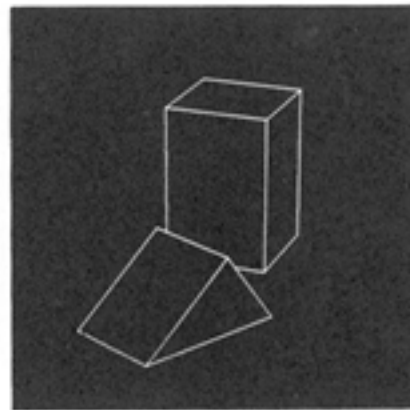
(a) Original picture.



(b) Differentiated picture.



(c) Line drawing.



(d) Rotated view.

L. G. Roberts, *Machine Perception of Three Dimensional Solids*,
Ph.D. thesis, MIT Department of
Electrical Engineering, 1960



Spacewar, MIT, 1961



- Steve Russell, 200 человеко-месяцев

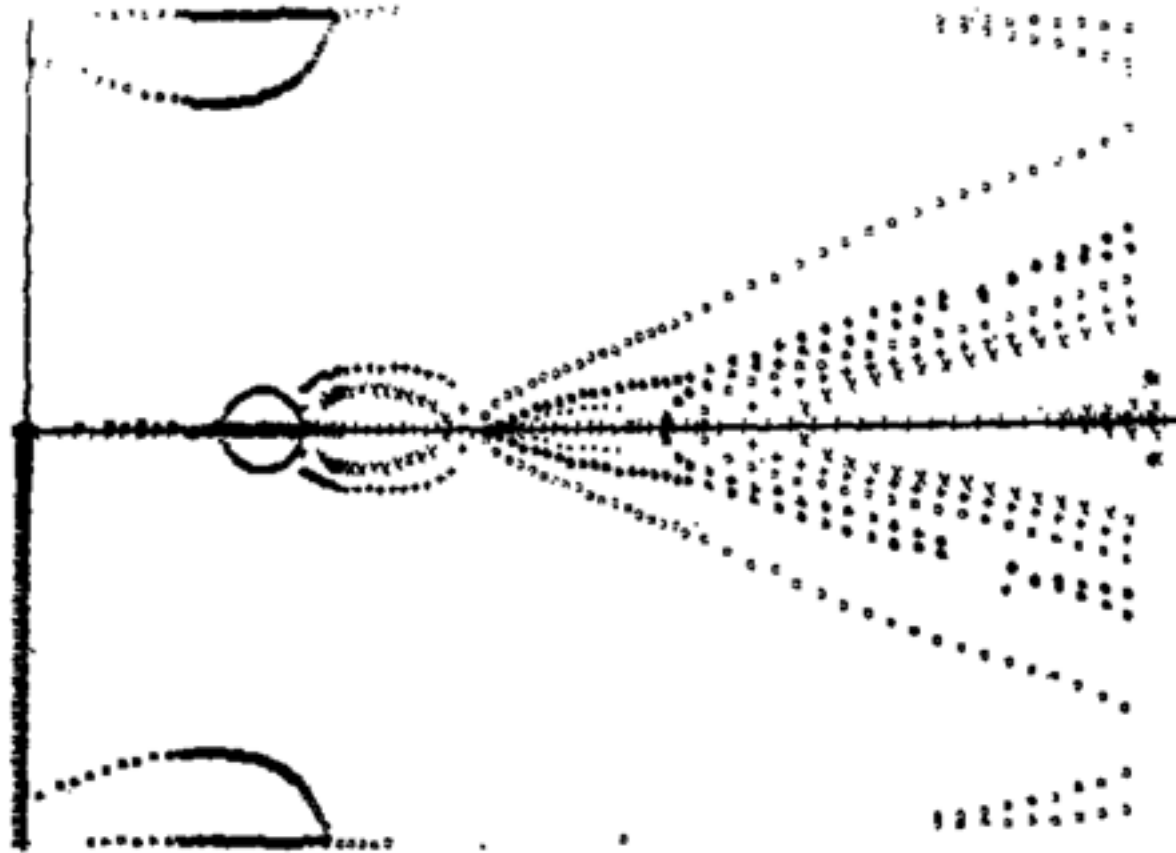


SketchPad, MIT, 1963



- Ivan Sutherland демонстрирует интерактивный графический редактор SketchPad

Визуализация в СССР, 1964



Обтекание цилиндра плазмой
(Работа выполнена в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)



CAD, IBM + GM, 1964



Первая CAD-система,
геометрические
преобразования (поворот,
вращение)

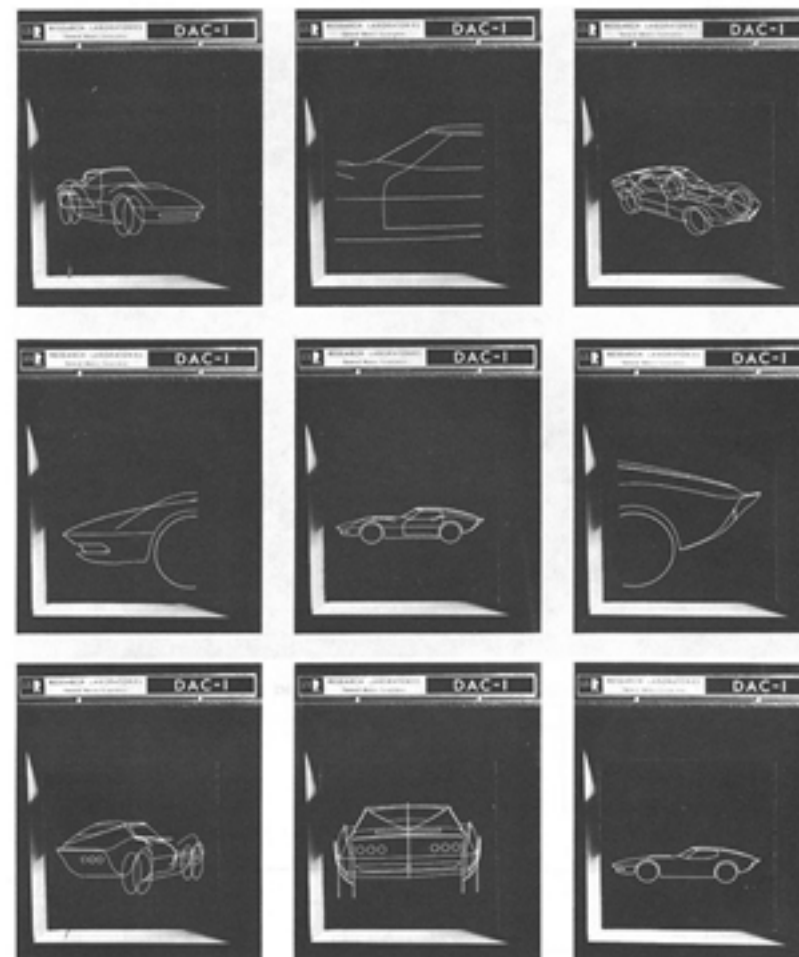


FIG. 1-8 Scale expansion, rotation, and partial views in a DAC-1 design exercise.



IBM 2250 и Adage AGT-30



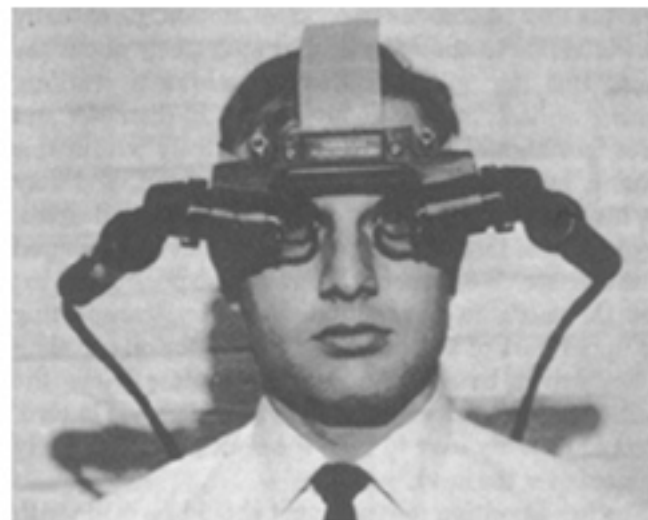
1024x1024 векторный
дисплей, стыковался к
IBM 360



Первая отдельная
графическая станция,
быстрый дисплей
(вращение без
мерцания)



Virtual Reality, Harvard, 1968



- Ivan Sutherland перешел в Гарвард, где разработал первый Head Mounted Display (HMD)
- Виртуальная комната (wireframe), в которую можно войти



Utah, 1968 и далее

- [Hidden surface](#) (Romney, Warnock, Watkins)
- scan line coherence (Watkins)
- Rendering (Crow, Blinn, Newell, Catmull, [Clark](#), etal)
- z-buffer (Catmull)
- Patch rendering (Catmull)
- Texture mapping (Catmull, Blinn, Newell)
- [Shadows](#) (Crow)
- Antialiasing (Crow)
- Shading (Phong, Gouraud)
- Lighting (Phong, [Blinn](#))
- Atmospheric effects ([Blinn](#))
- Environment mapping ([Blinn](#), [Newell](#))
- Blobby surfaces (Blinn)
- Facial animation (Parke)
- Procedural modeling (Newell)
- Splines (Riesenfeld, Lyche, Cohen)
- Beta-splines (Barsky)

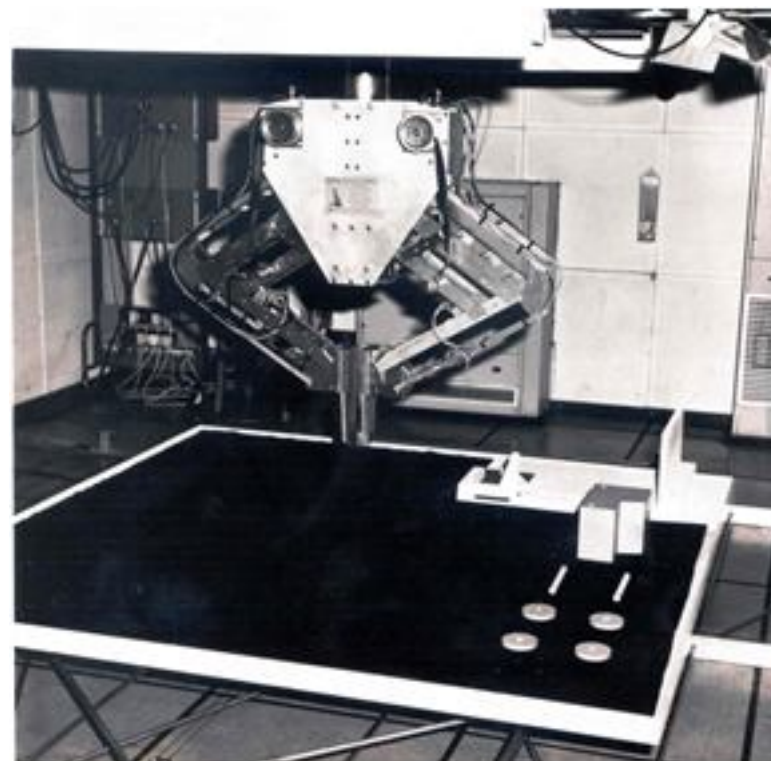


Utah teapot (Newell)



Freddy II, 1973

- Университет Эдинбурга
- Один из первых роботов с системой машинного зрения
- 5 степеней свободы
- Умеет собирать машинки из кубиков, разбросанных по столу
- 384Кб RAM в управляющем компьютере



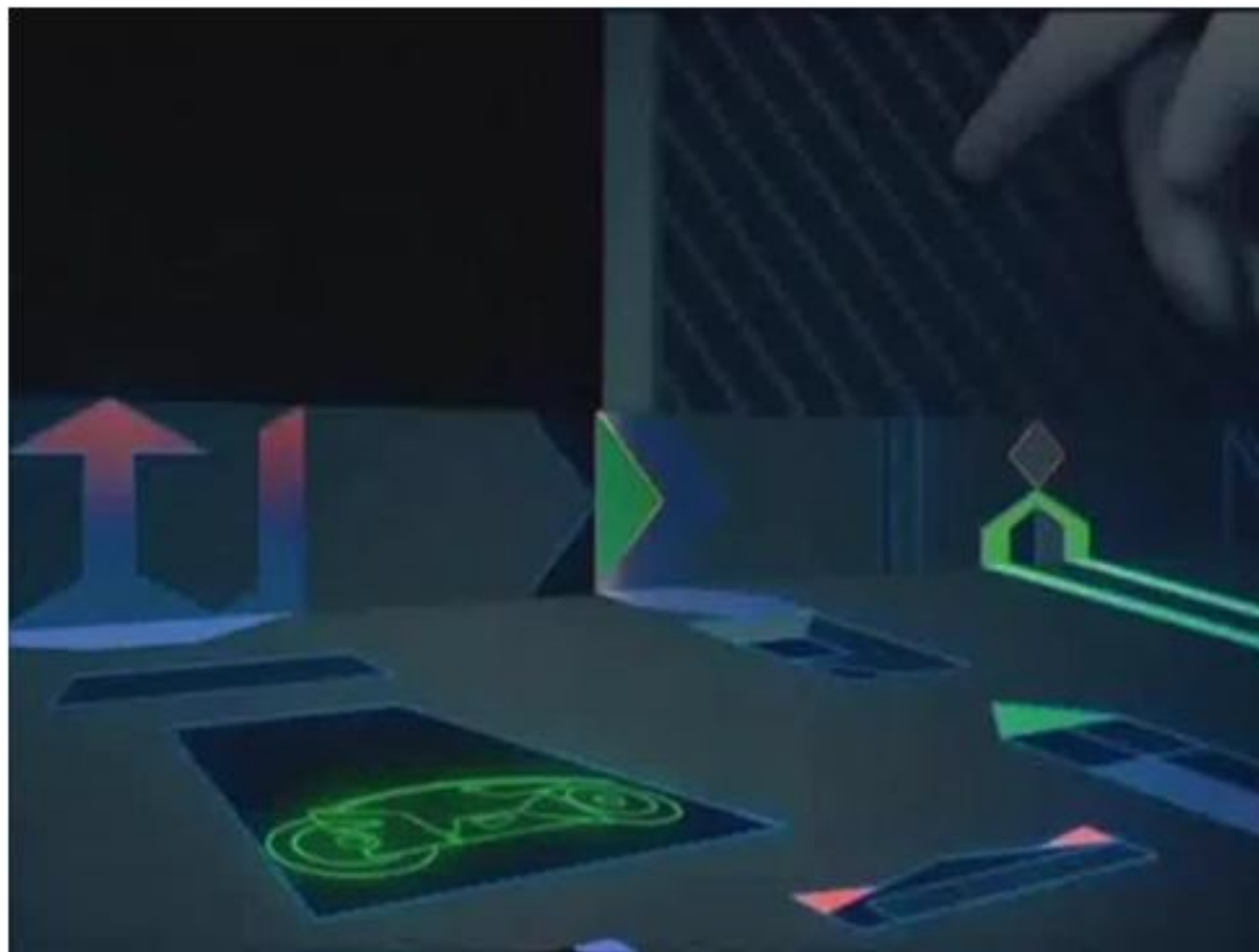


ACM-Siggraph, 1973

- 1967 - Семинары Sam Matsu и Andy Van Dam
- 1969 – официальное признание Special Interest Group – ACM Siggraph
- 1973 – первая конференция Siggraph, сейчас крупнейшая научная и промышленная конференция по компьютерной графике
 - Проходит ежегодно в августе в США



Tron, Movie CGI, 1982



Первая полностью синтезированная на компьютере сцена
в кинематографе



Playstation (1994) и GPU (1999)



Nvidia GeForce 256



Sony PlayStation

Graphics Processing Unit - специализированные процессоры для компьютерной графики появились и раньше, но Nvidia ввела термин

Детектор лиц, 2001



Алгоритм Viola-Jones – первый быстрый и надежный алгоритм поиска лиц. Демонстрация силы машинного обучения.



Kinect (2010)



Первая потребительская система управления компьютером через распознавание жестов



План лекции

- Организация курса и план лекций
- Основные понятия и история компьютерной графики
- Камера и глаз, свет и цвет



Камера-обскура

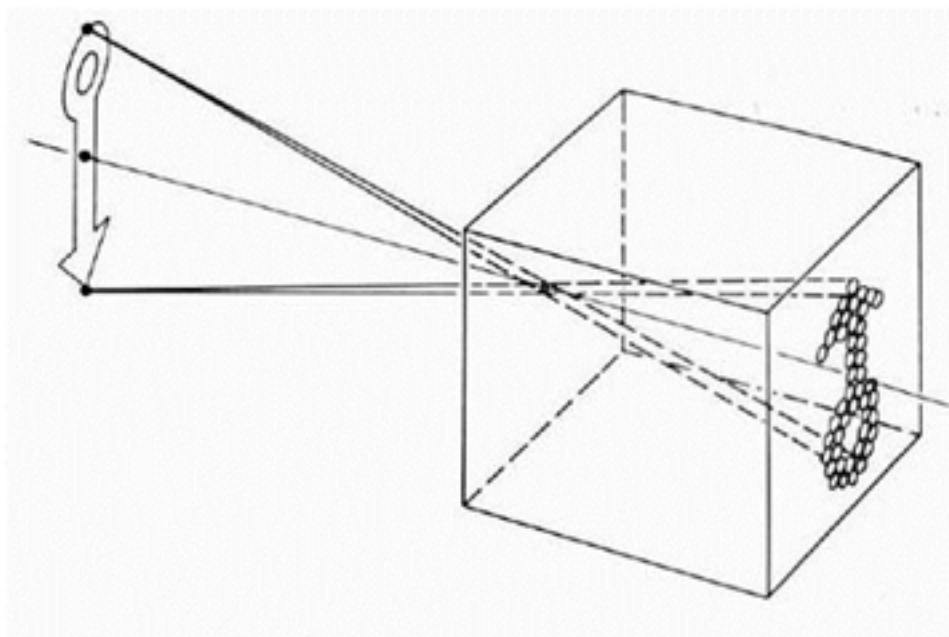


Gemma Frisius, 1558

- Принцип был известен еще Аристотелю (384-322 до Н.Э.)
- Помогала художникам: описана Леонардо да Винчи (1452-1519)



Модель камеры-обскуры



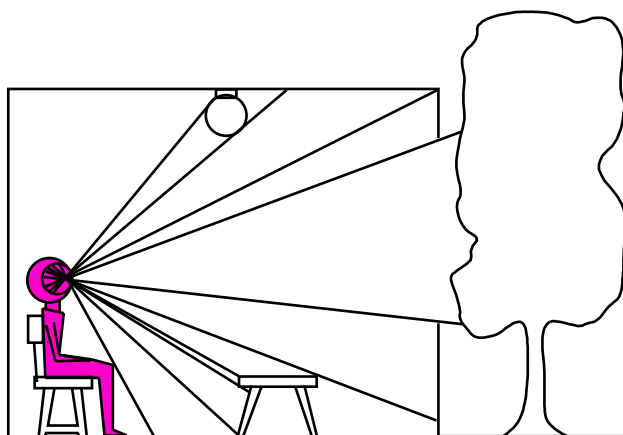
Камера-обскура:

- Захватывает пучок лучей, проходящих через одну точку
- Точечное отверстие называется «Центр проекции» (фокальная точка / **focal point**)
- Изображение формируется на картинной плоскости (**Image plane**)

Машина Понижения Размерности (3D в 2D)

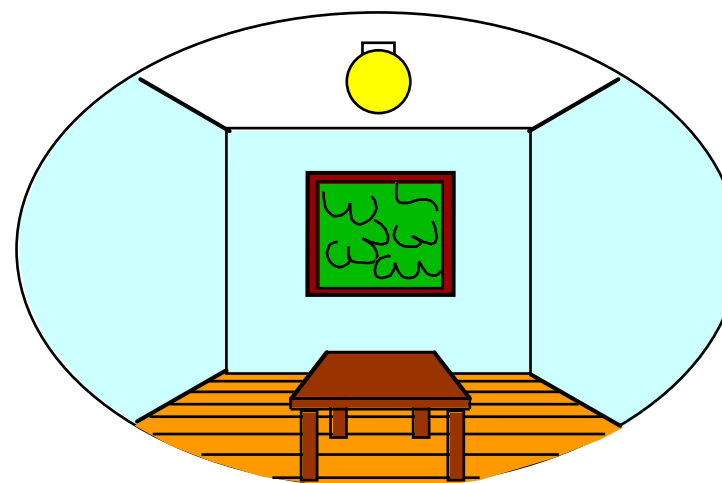


3D мир



Point of observation

2D картина



Подробнее геометрическая
модель рассматривается
позже

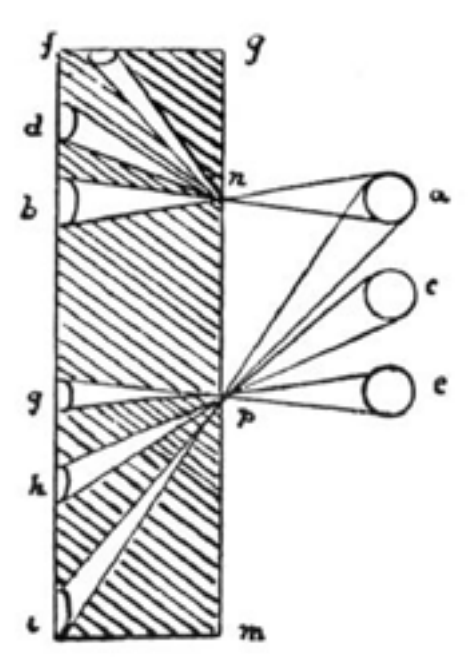
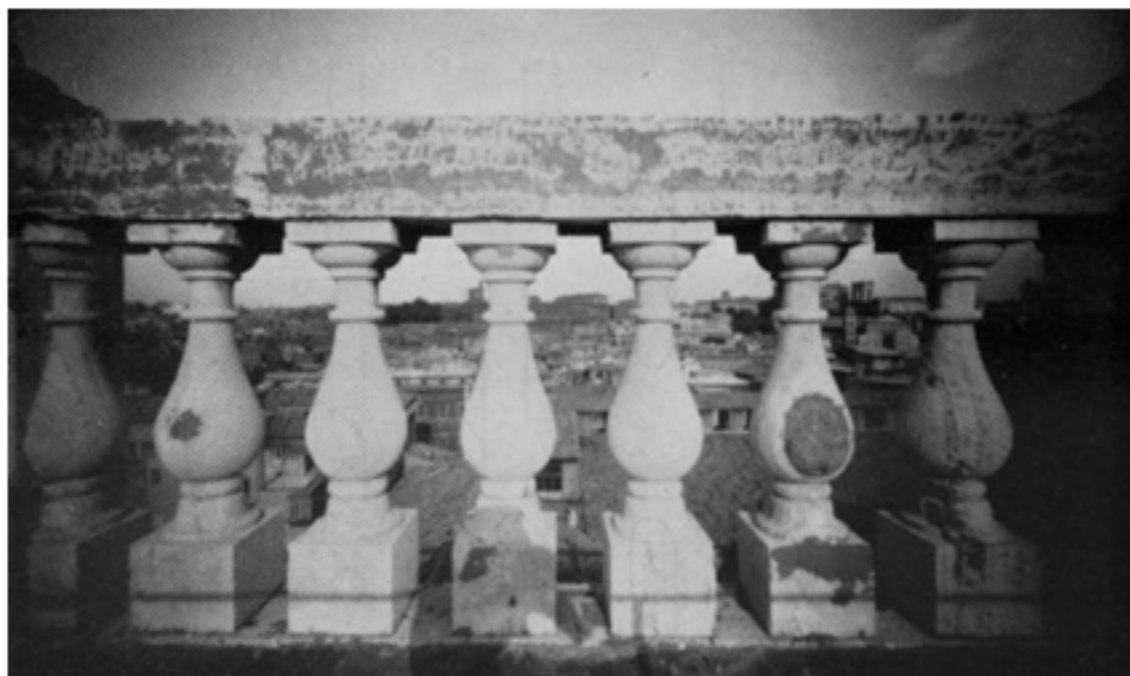
Что мы теряем?

- Углы
- Расстояния и длины



Перспективные искажения

- Крайние колонны кажутся толще
- Эти искажения вызваны не погрешностью линз!
- Проблема была отмечена еще да Винчи





Перспективные искажения: Люди





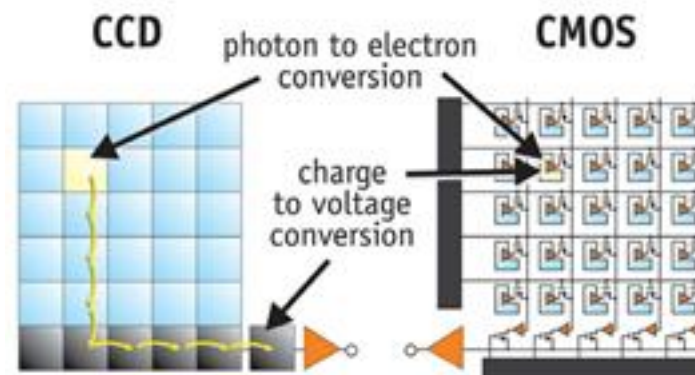
Современная камера



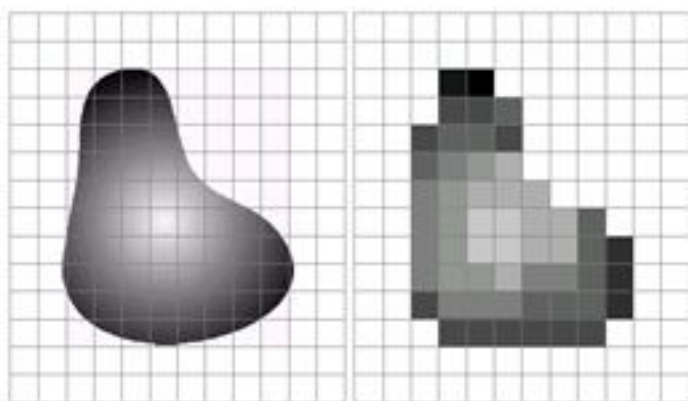
Тот же самый принцип, что и у камеры-обскуры,
но с пленкой, объективом и т.д.



Цифровая камера - дискретизация



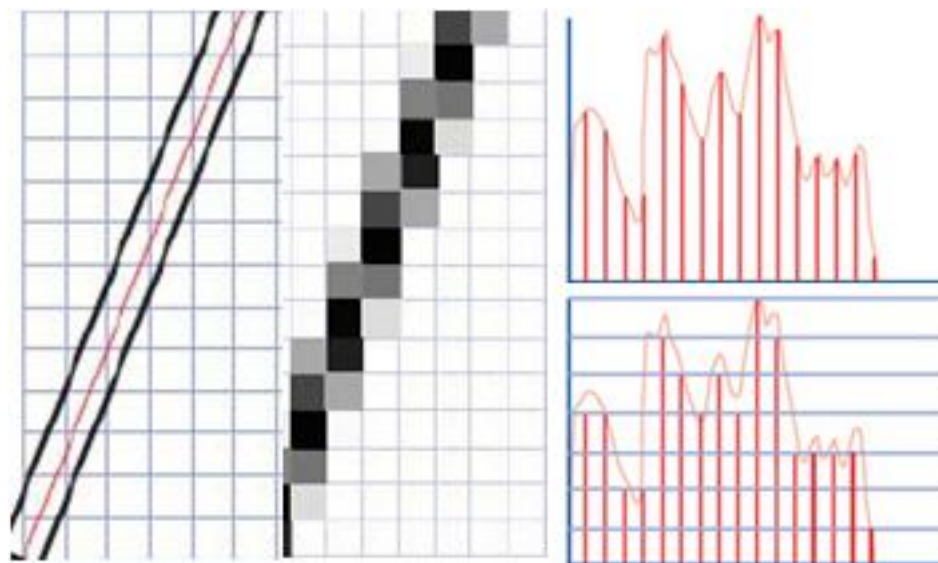
CCDs move photogenerated charge from pixel to pixel and convert it to voltage at an output node. CMOS imagers convert charge to voltage inside each pixel.



a b

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

По пространству



По яркости



Изображение

Изображение *оптическое* – картина, получаемая в результате прохождения через оптическую систему лучей, распространяющихся от объекта, и воспроизводящая его контуры и детали.

(Физический энциклопедический словарь)

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

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



Первое цифровое фото (1957)



Разрешение
176*176 пикселей

<http://listverse.com/history/top-10-incredible-early-firsts-in-photography/>



Цветные фотографии??





Что такое цвет?

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*)

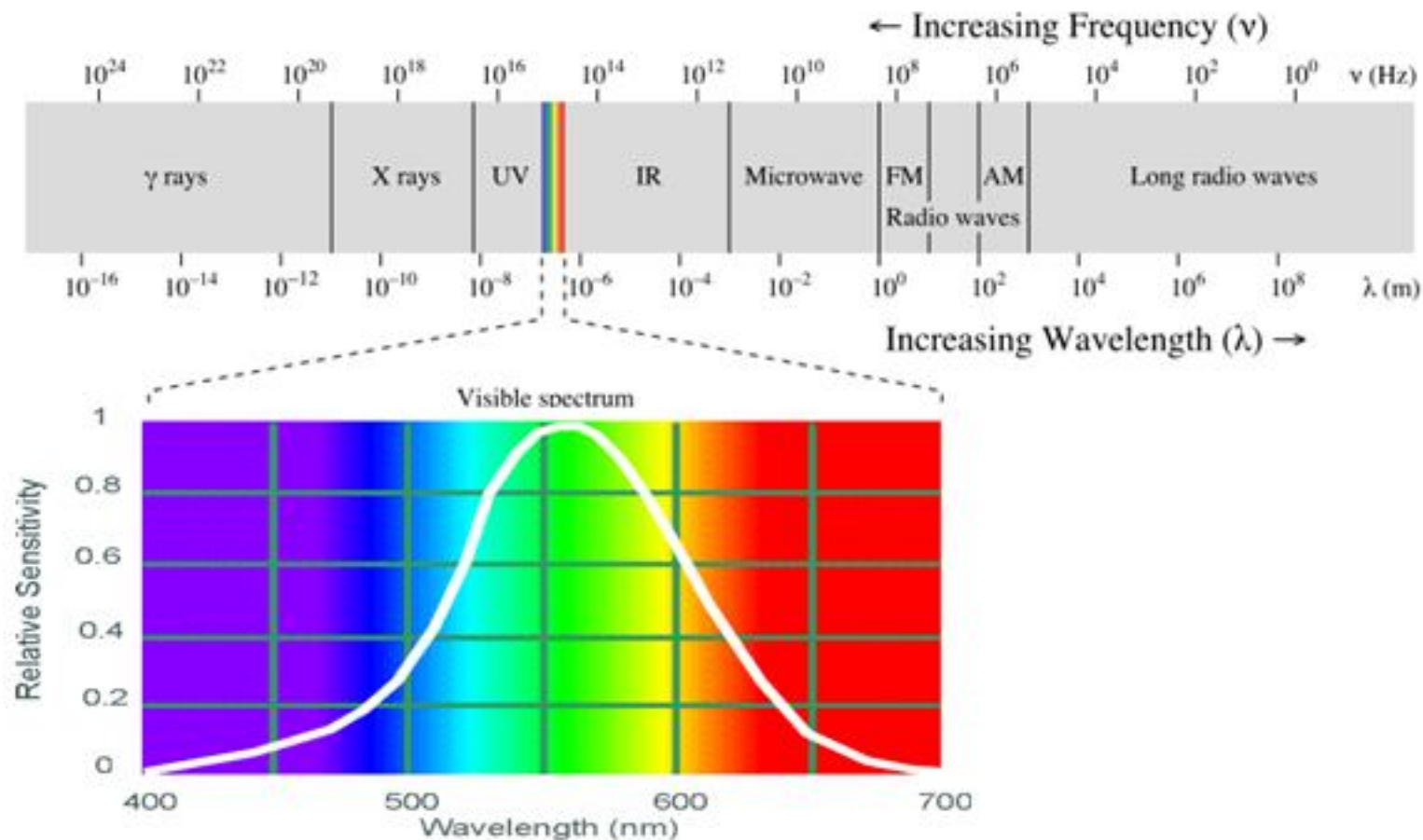
Цвет – это результат взаимодействия света, сцены и нашей зрительной системы



Wassily Kandinsky (1866-1944), Murnau Street with Women, 1908



Электромагнитный спектр



Human Luminance Sensitivity Function

Почему мы видим свет именно в таком диапазоне?

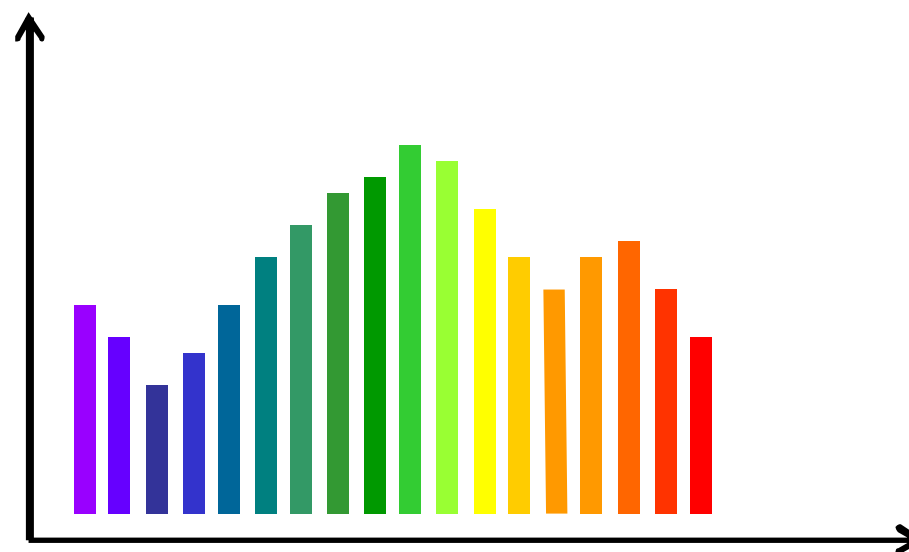
Потому что именно такой диапазон излучения солнца



Физика света

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

Энергия
(Число
фотонов
в мс)



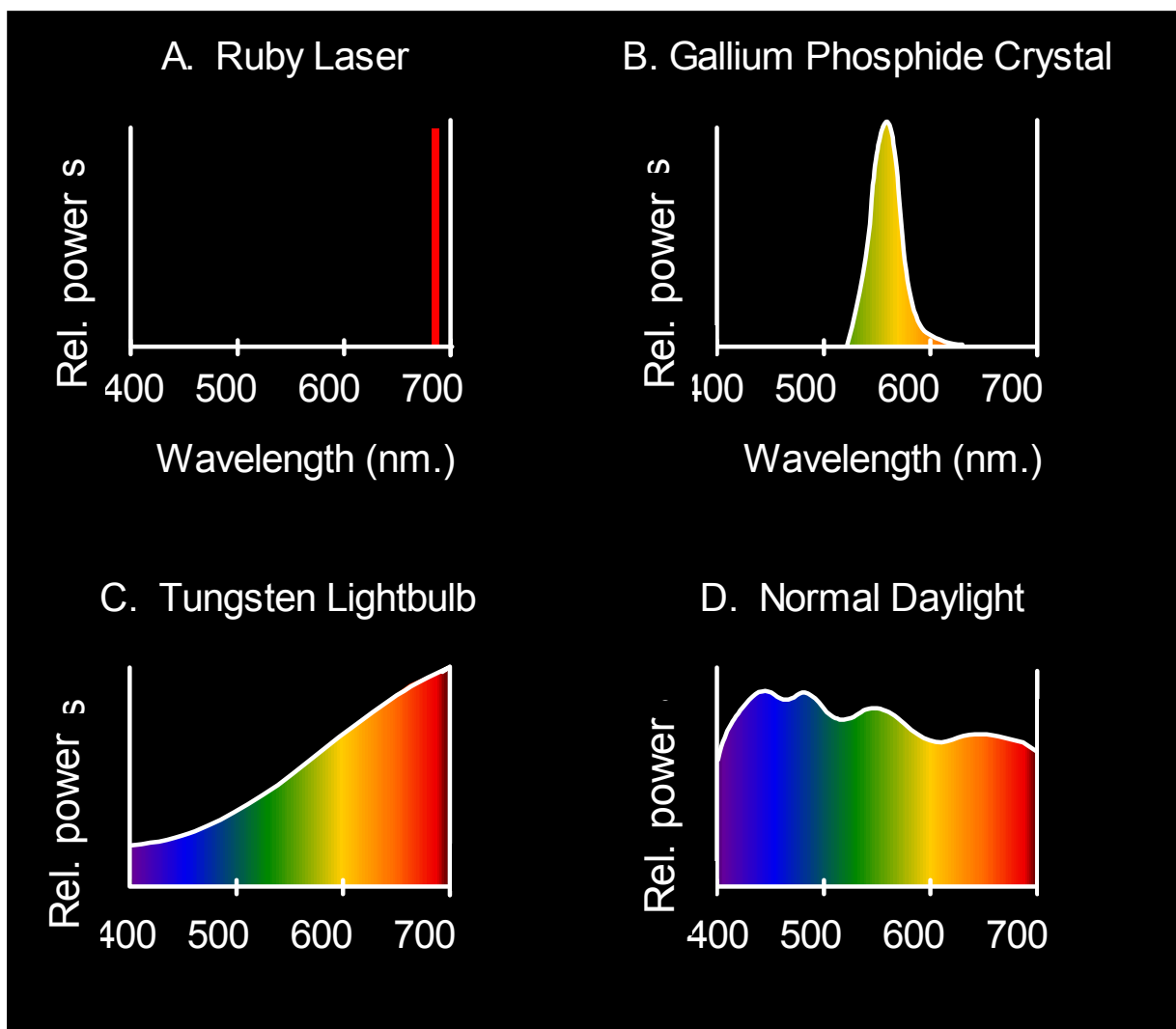
© Stephen E. Palmer, 2002

Длина волны



Физика света

Примеры спектров разных источников света



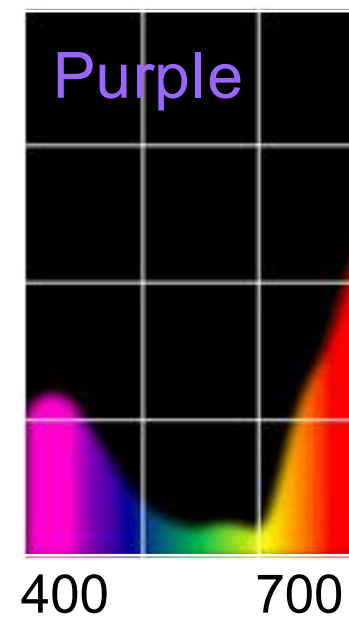
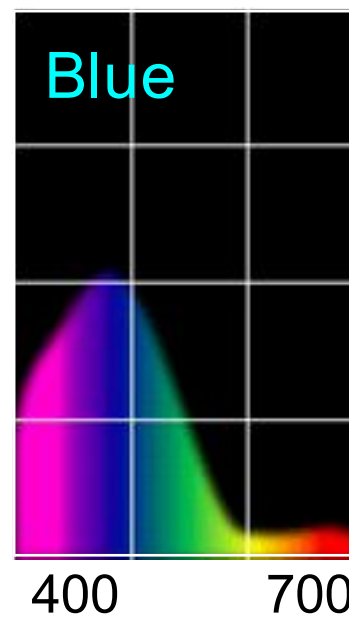
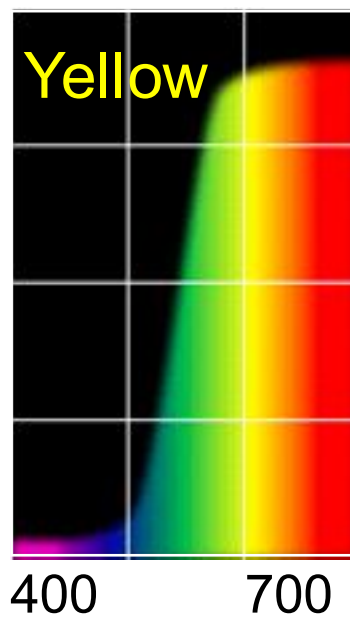
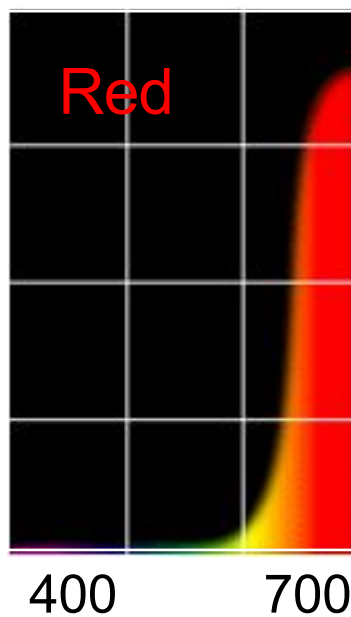


Физика света

Примеры спектров отраженного света от предметов



% Отраженного света

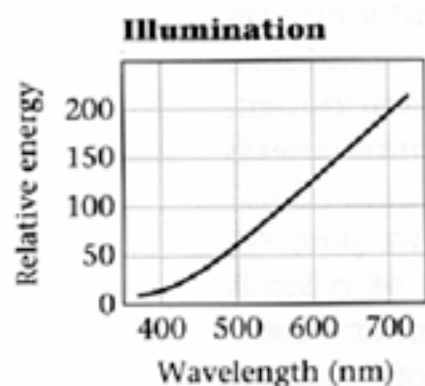




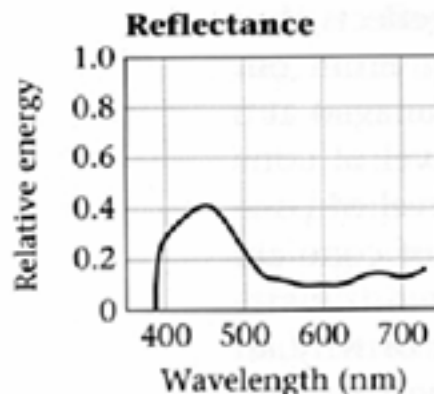
Взаимодействие света и объектов



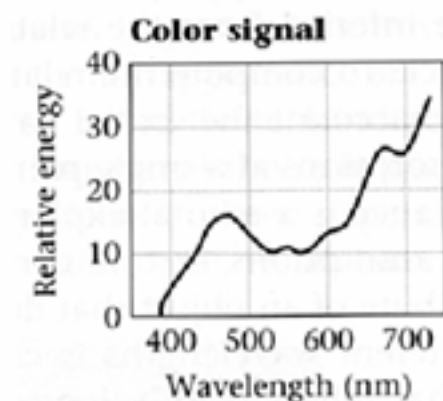
Видимый цвет это
результат взаимодействия
спектра излучаемого света
и поверхности



• *

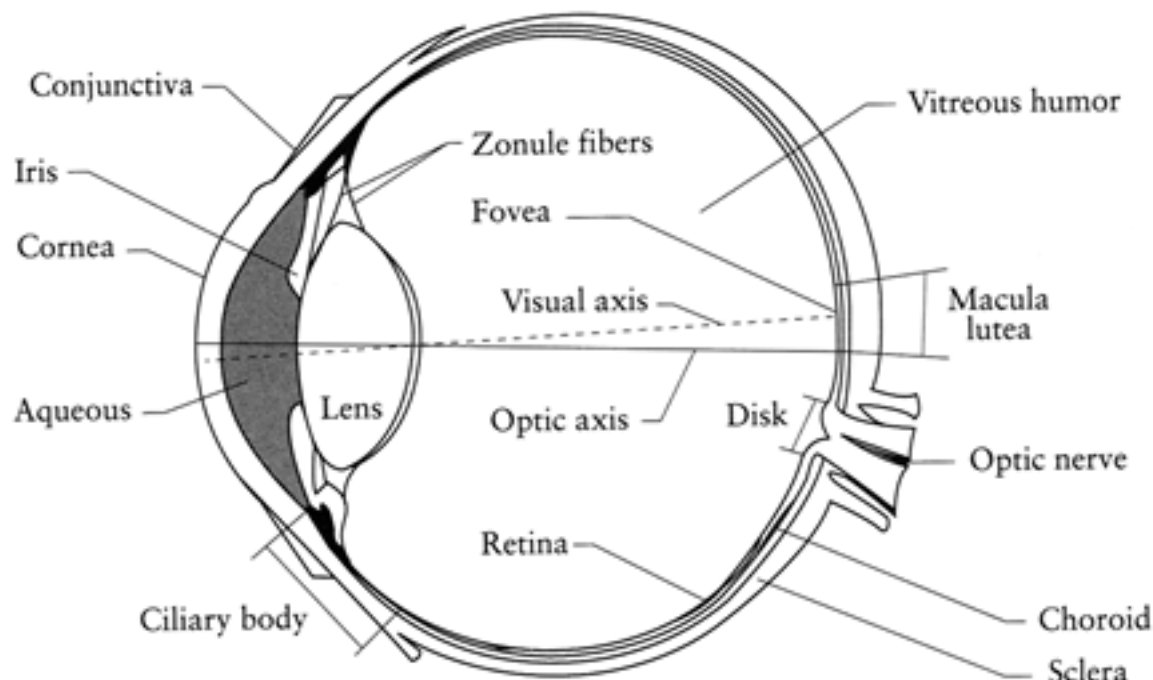


=





Человеческий глаз

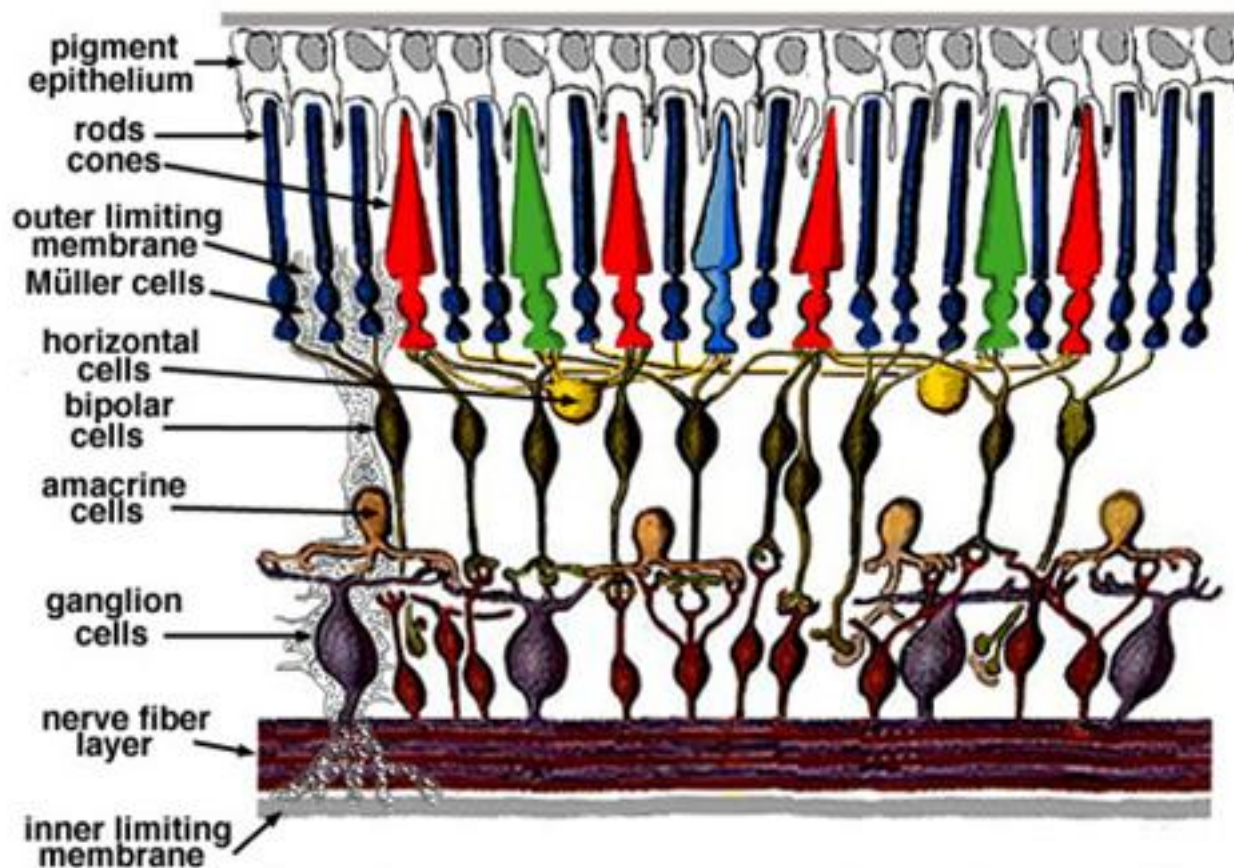


Глаз как камера!

- **Радужка** — цветная пленка с радиальными мышцами
- **Зрачок** - отверстие (апертура), диаметр управляется радужкой
- **Хрусталик** — «линза», меняющая форму под действием мышц
- Где матрица?
 - Клетки-фоторецепторы на сетчатке



Сетчатка глаза



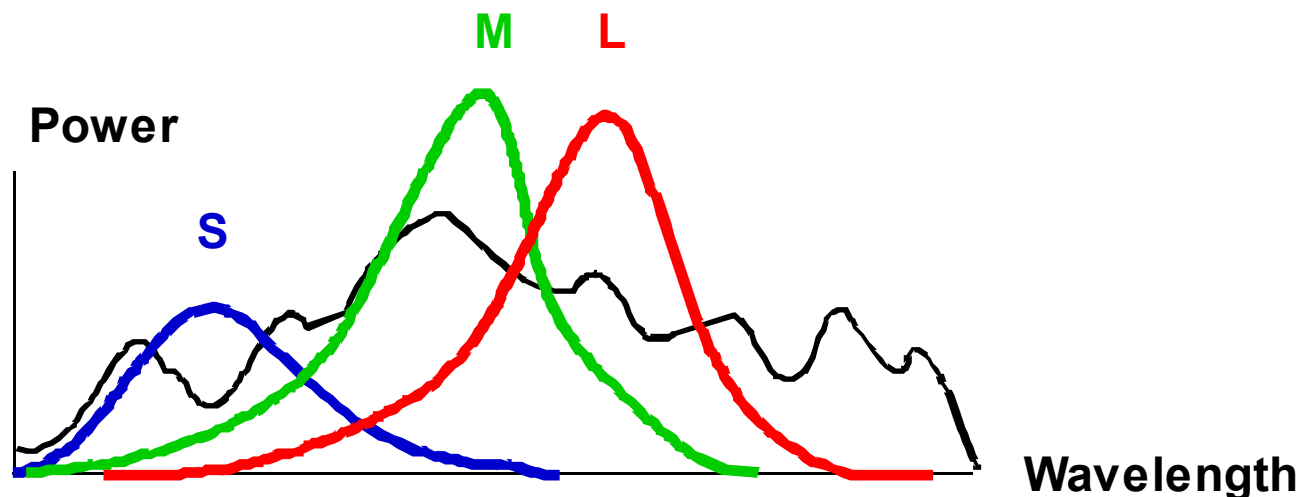
- Палочки (Rods) измеряют яркость
- Колбочки (Cones) измеряют цвет



Свет



Восприятие цвета

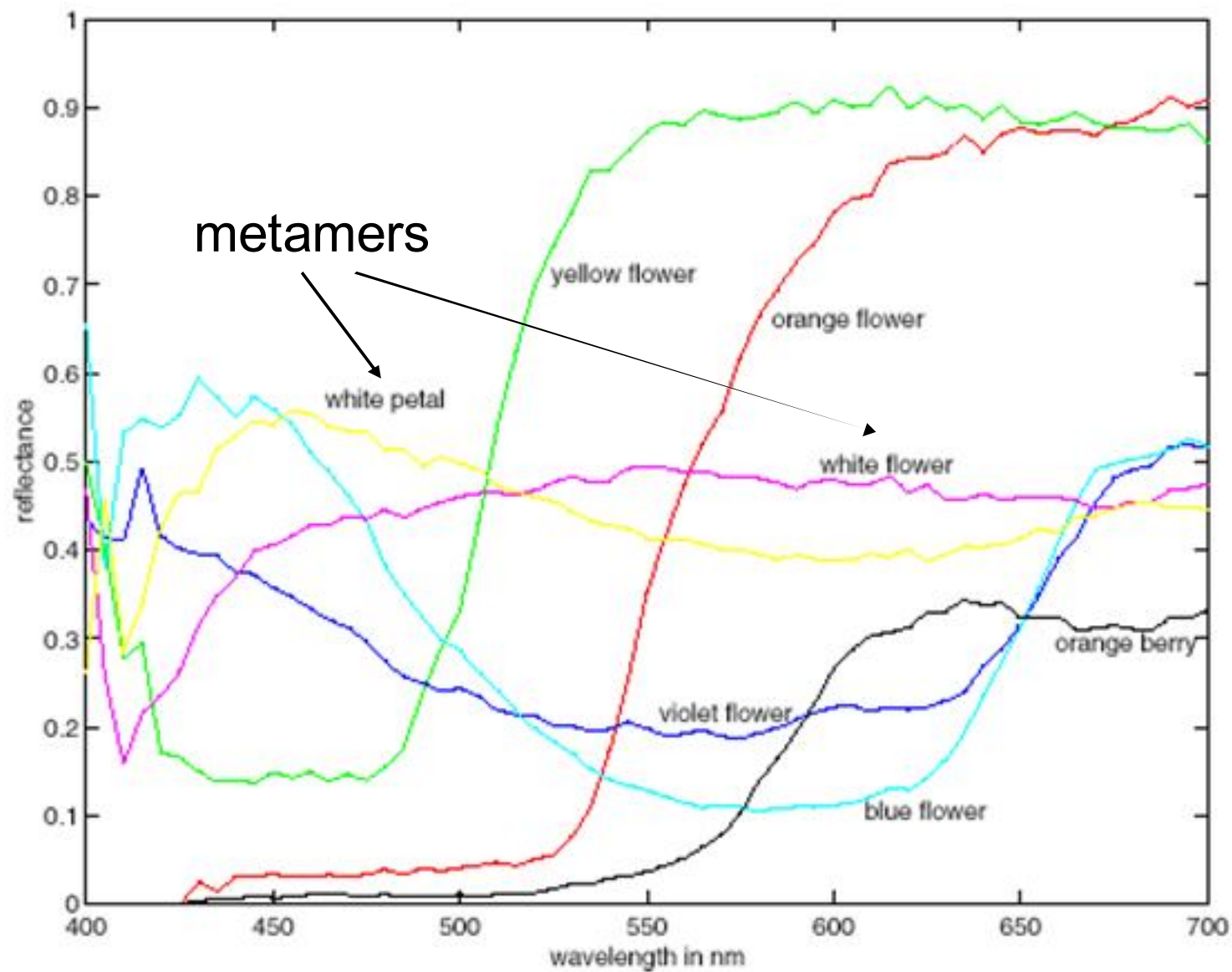


Палочки и колбочки – фильтры спектра

- Спектр умножается на кривую отклика, производится интегрирование по всем длинам волн
 - Каждый тип колбочек даёт 1 число
- В: Как же мы можем описать весь спектр 3мя числами?
- О: Мы и не можем! Большая часть информации теряется.
 - Два разных спектра могут быть неотличимы
 - » Такие спектры называются **метамеры**



Спектры некоторых объектов

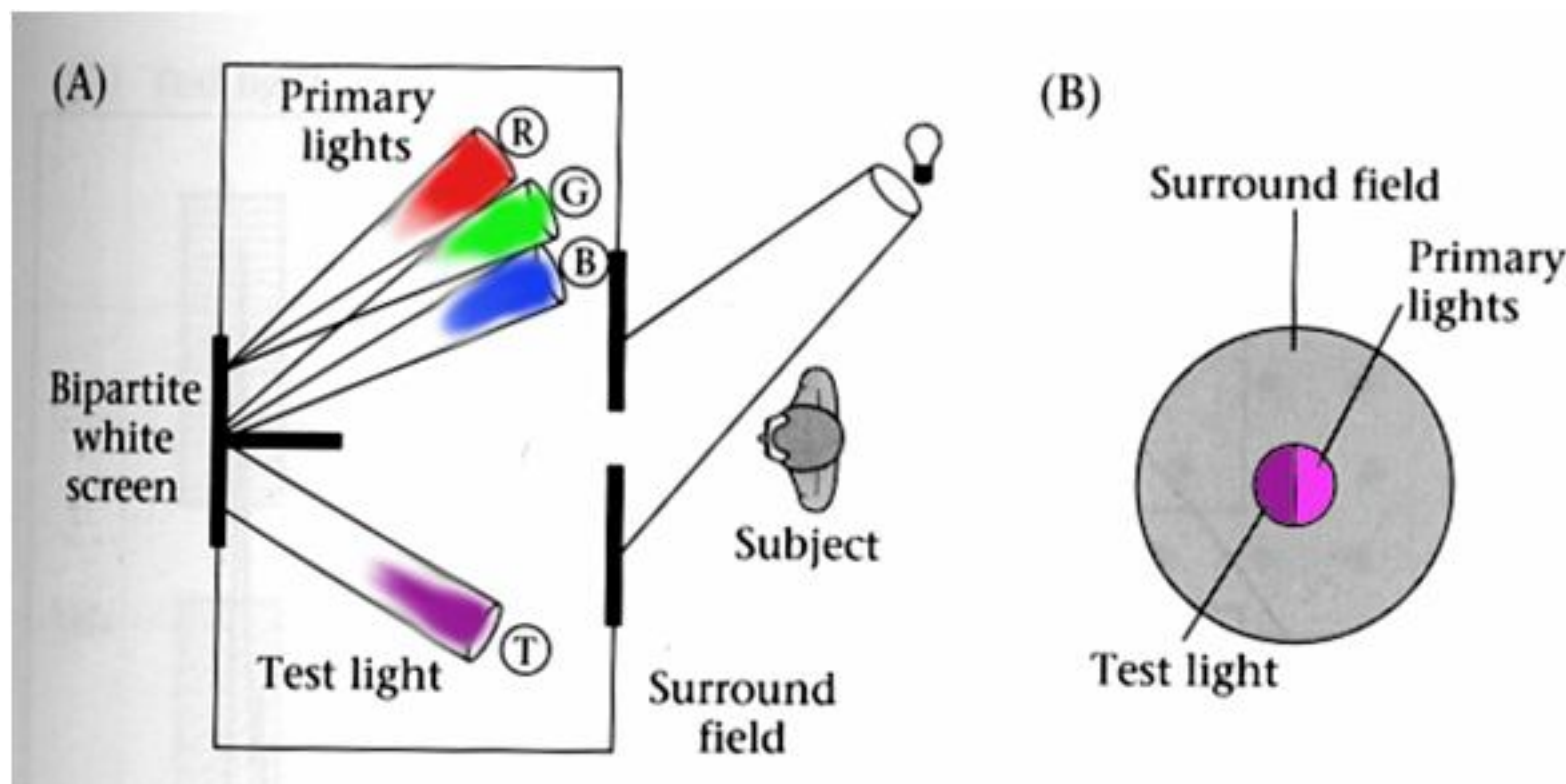




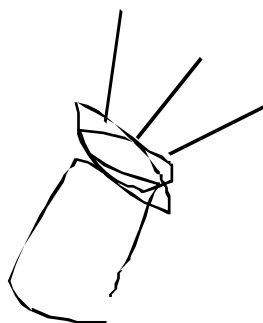
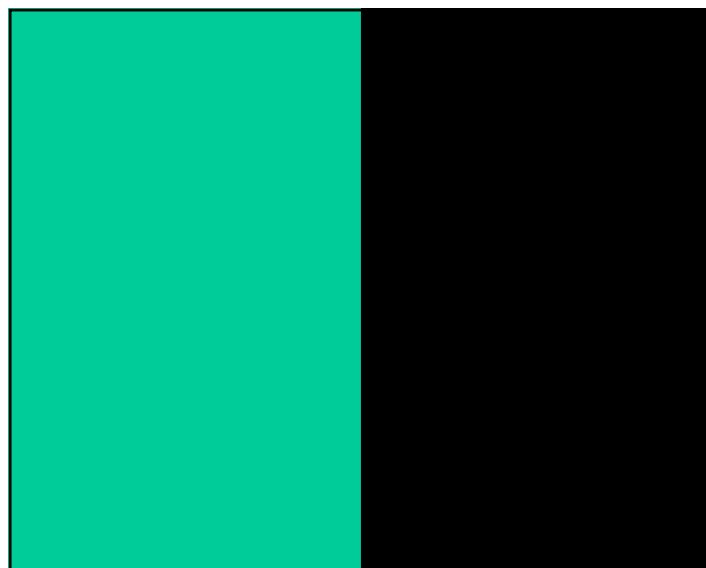
Стандартизация восприятия цвета

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

Эксперименты по сопоставлению цвета

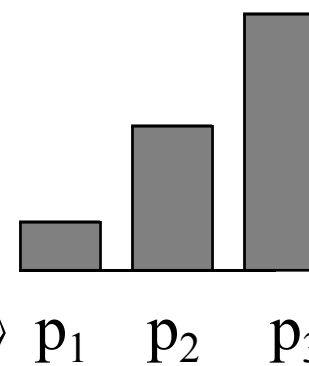
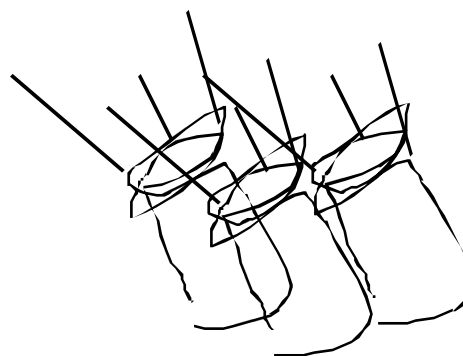
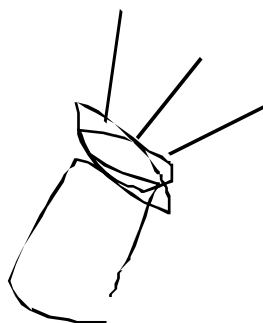
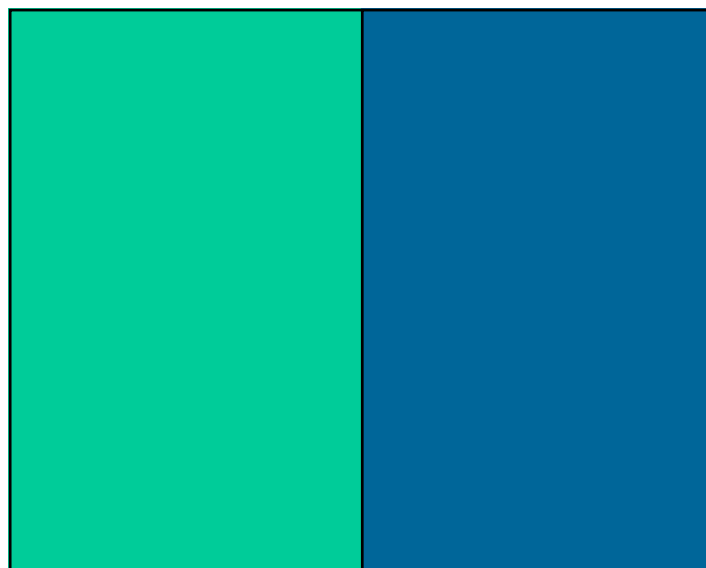


Эксперимент №1



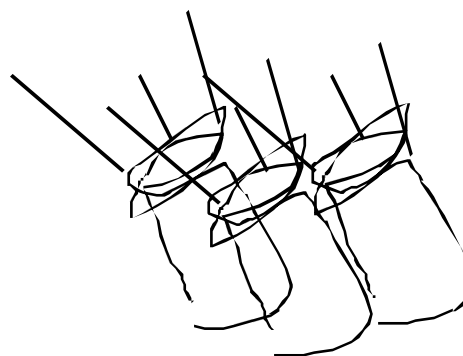
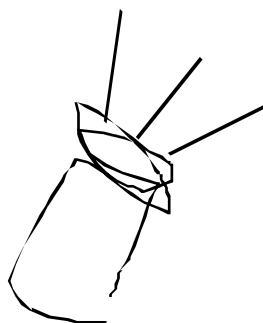
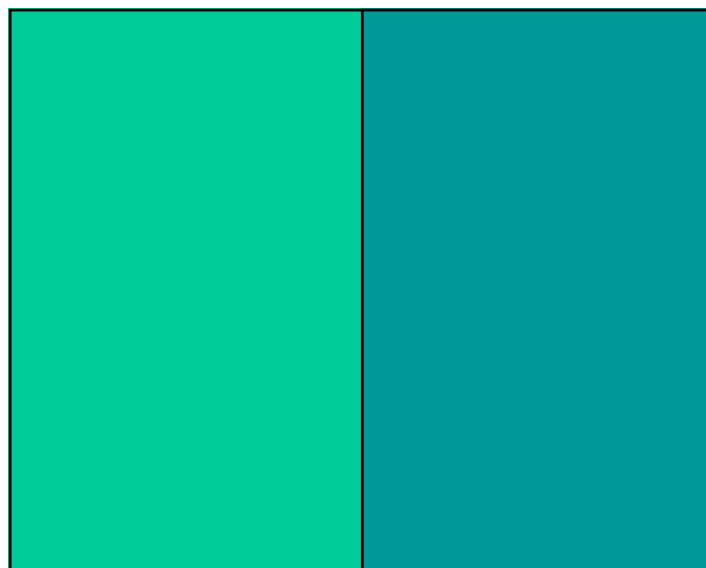
Source: W. Freeman

Эксперимент №1



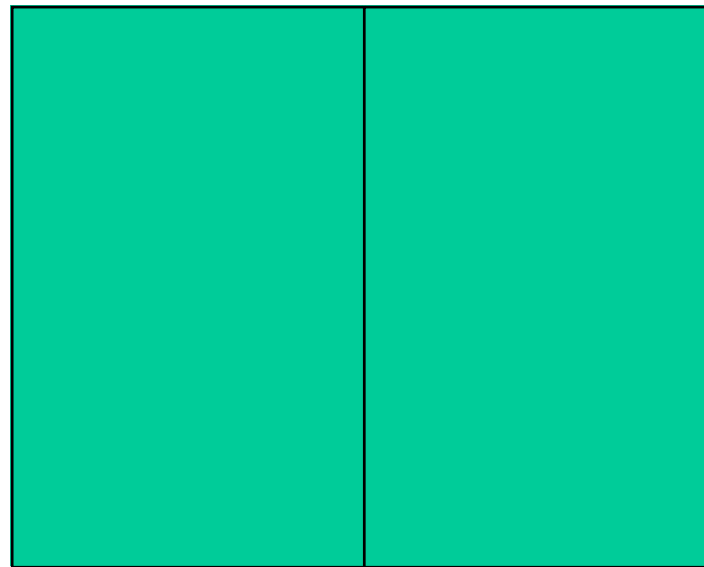
Source: W. Freeman

Эксперимент №1

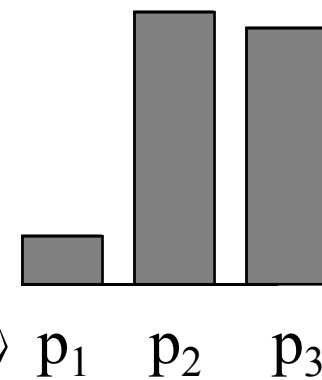
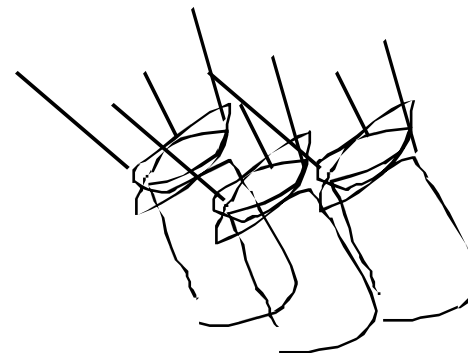
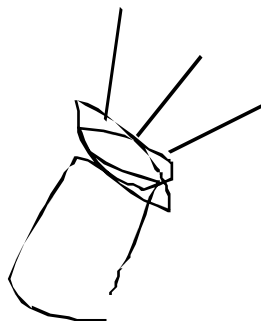


Source: W. Freeman

Эксперимент №1

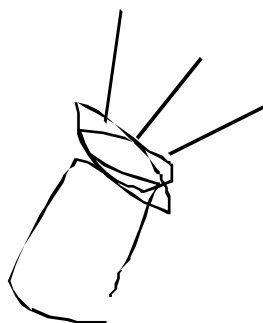


Основные цвета,
необходимые для
сопоставления



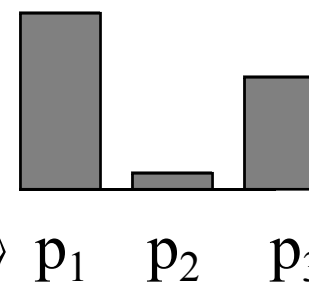
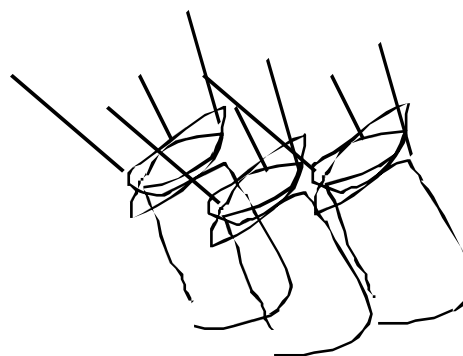
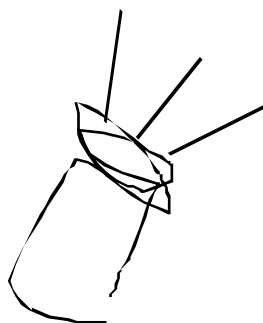
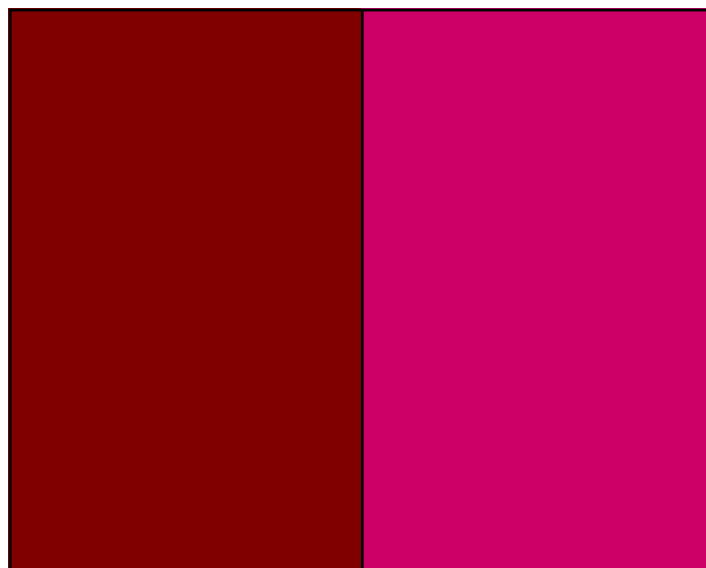
Source: W. Freeman

Эксперимент №2



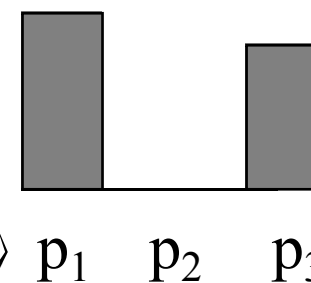
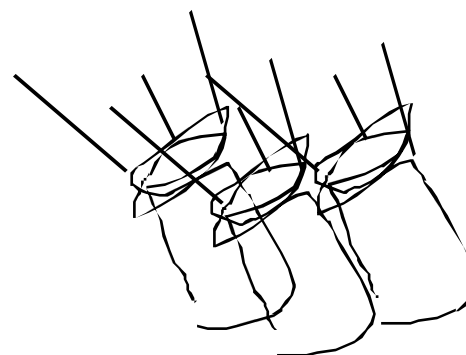
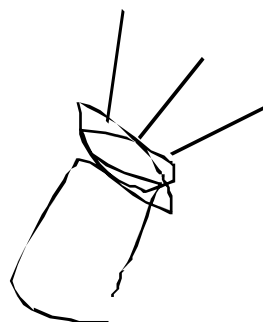
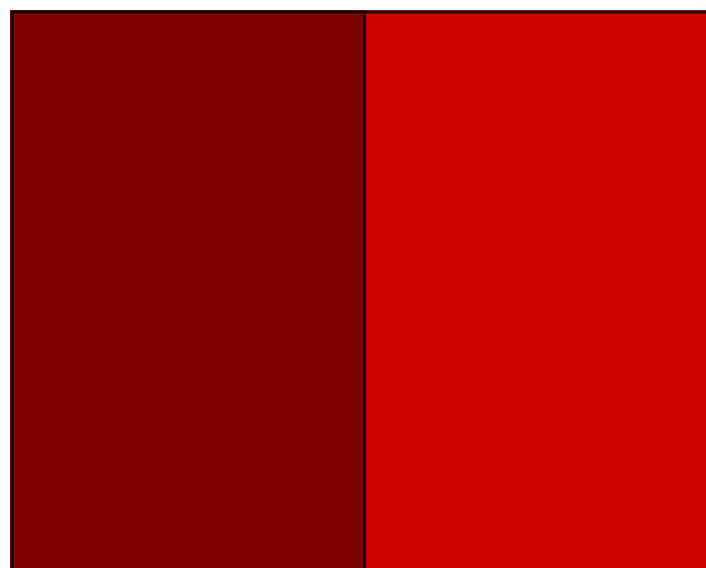
Source: W. Freeman

Эксперимент №2



Source: W. Freeman

Эксперимент №2

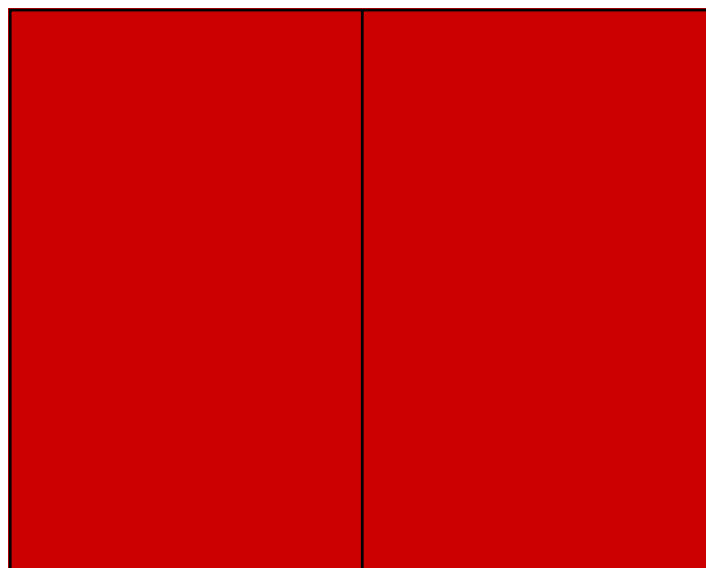


Source: W. Freeman

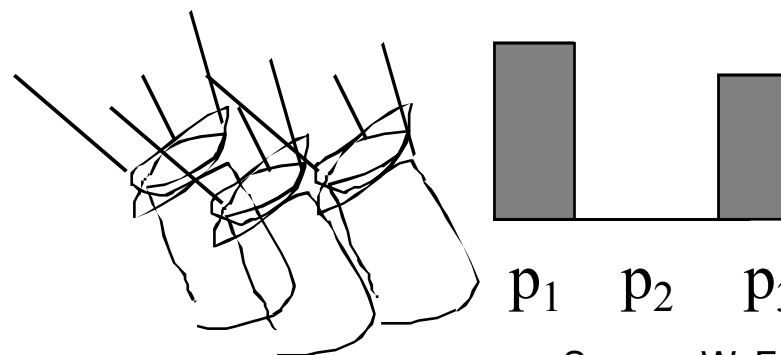
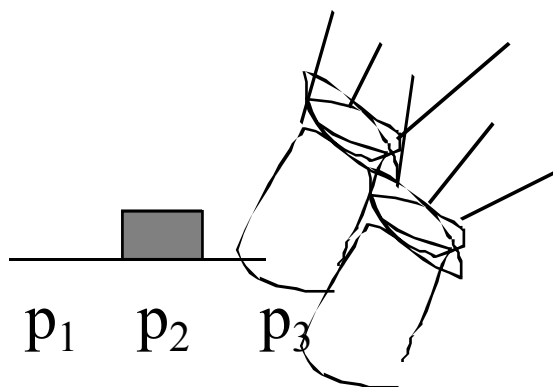
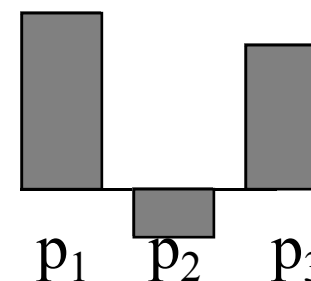


Эксперимент №2

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



Веса основных цветов, необходимых для сопоставления:



Source: W. Freeman



Трихроматическая теория

В экспериментах по сопоставлению цвета большинству людей достаточно 3х основных цветов, чтобы сопоставить любой цвет

- Основные цвета должны быть независимы

Для одного и того же спектра, и одних и тех же основных цветов, люди выбирают одинаковые веса

- Исключения: цветовая слепота

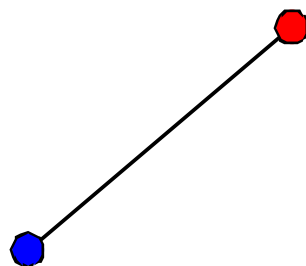
Трихроматическая теория

- Трех чисел оказывается достаточно, чтобы описать цвет
- История восходит к 18^у веку (Томас Юнг)

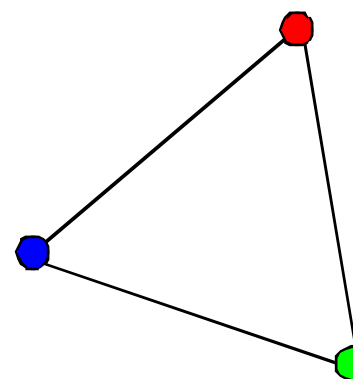


Линейные цветовые пространства

- Определяются выбором 3х основных цветов
- «Координаты цвета» задаются весами основных цветов, необходимых для сопоставления
- Каждая координата кодируется 1-2 байтами
- *Функции сопоставления: веса, необходимые для сопоставления с когерентными источниками света*



Смешение двух основных цветов






Смешение трех цветов



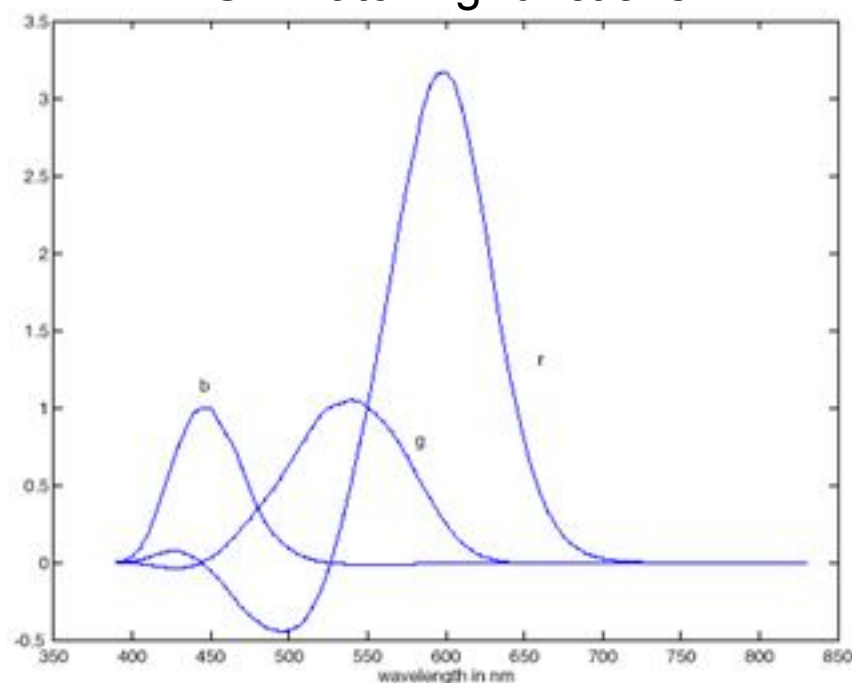
Линейные цветовые модели: RGB

- Основные цвета – монохроматические (в мониторе им соответствует три вида фосфоров)
- *Вычитание* необходимо для соответствия некоторым длинам волны



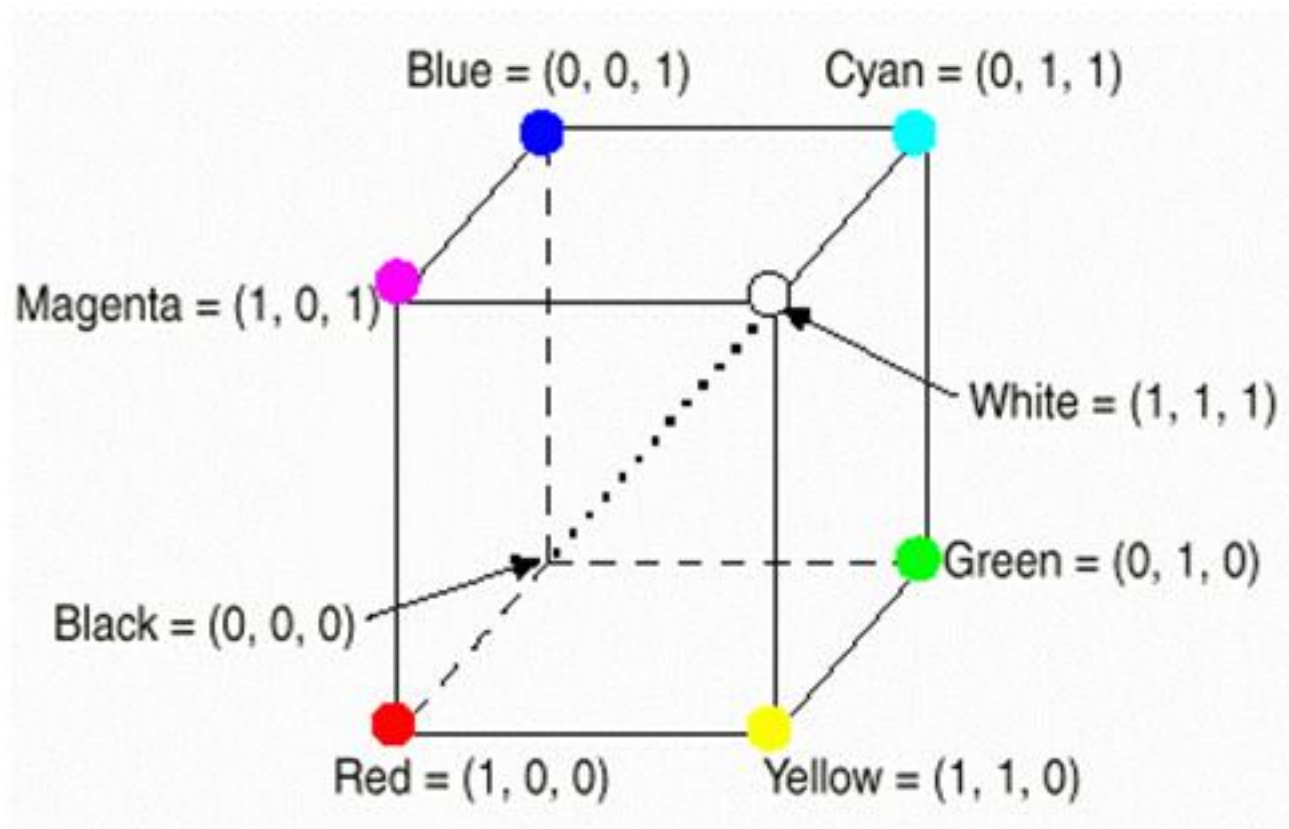
 $p_1 = 645.2 \text{ nm}$
 $p_2 = 525.3 \text{ nm}$
 $p_3 = 444.4 \text{ nm}$

RGB matching functions





Цветовой куб



- Аддитивная система – RGB
- Субтрактивная система - CMYK

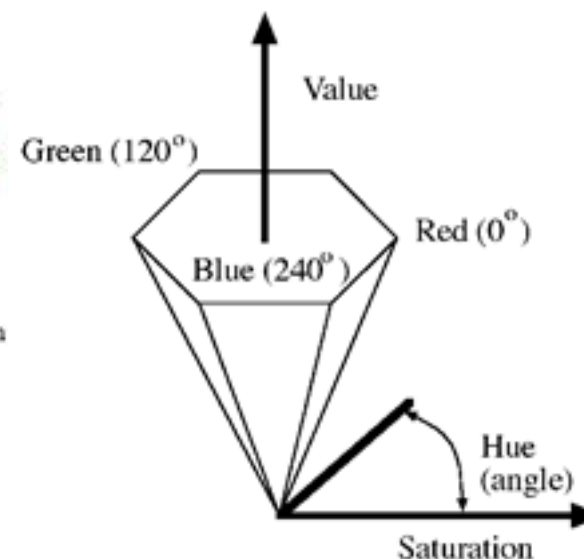
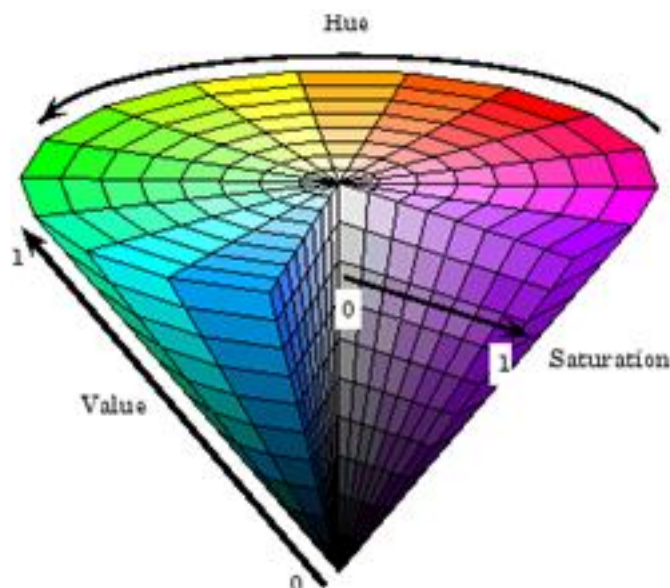
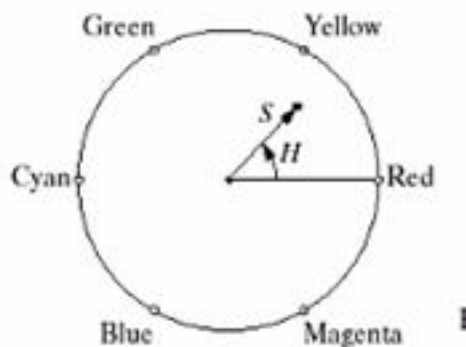
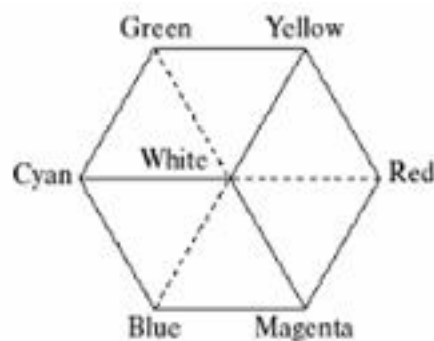
$$C = G + B = W - R$$

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

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



Модель HSV (HIS)



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



Перевод из RGB в HSV

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.



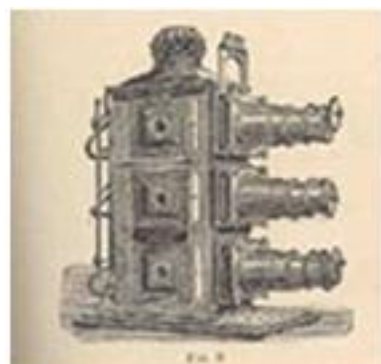
Модель YIQ

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



Первые цветные фотографии

Сергей Прокудин-Горский (1863-1944)
Фотографии Российской империи(1909-1916)



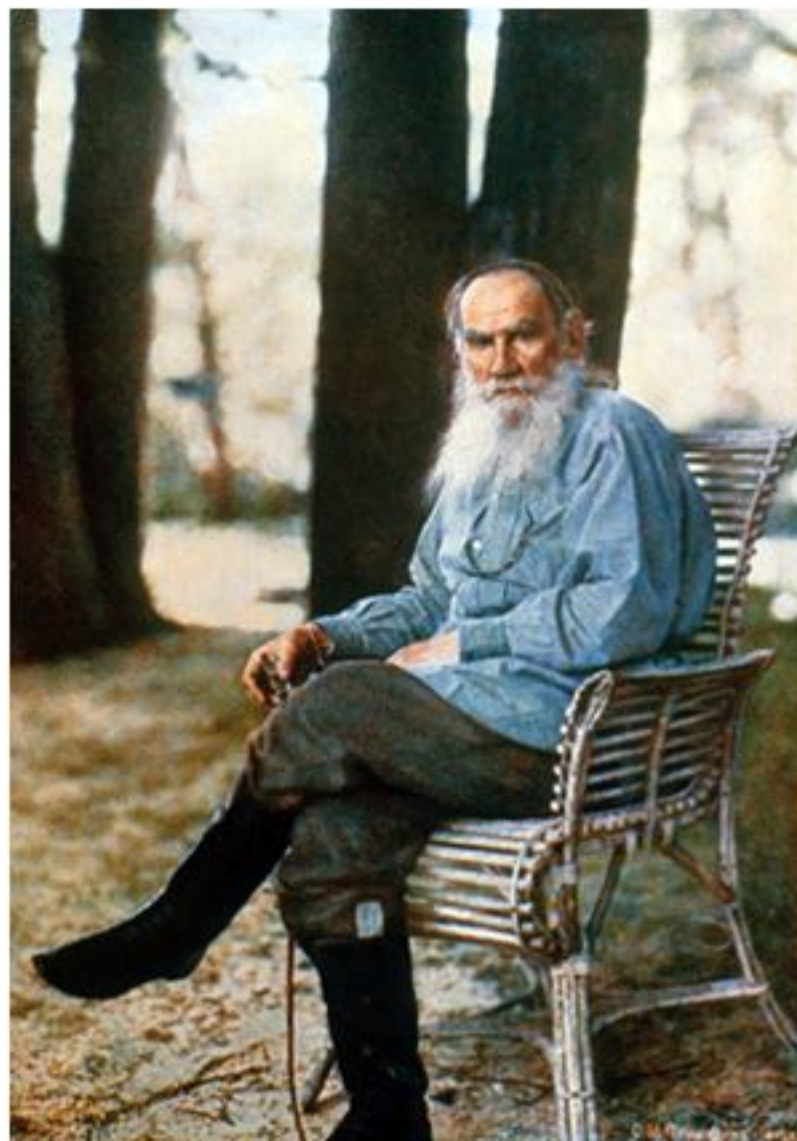
Lantern
projector



http://en.wikipedia.org/wiki/Sergei_Mikhailovich_Prokudin-Gorskii

<http://www.loc.gov/exhibits/empire/>

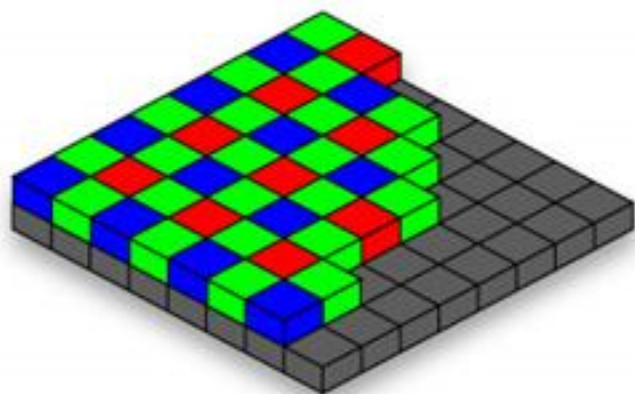
Лев Толстой



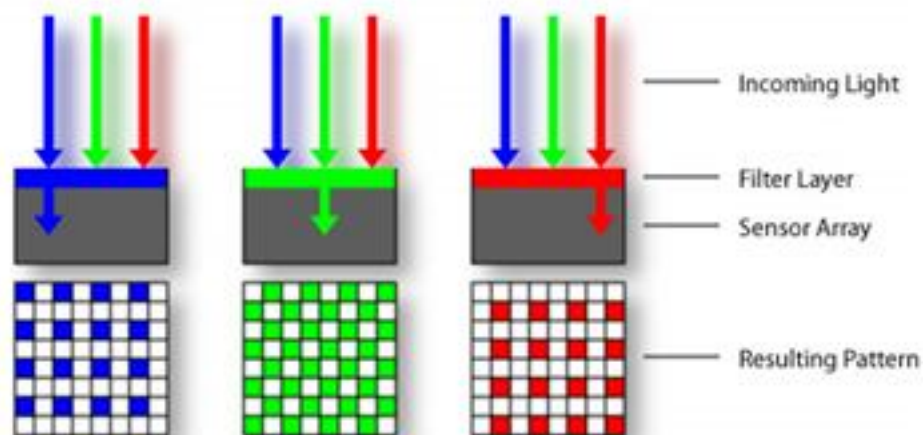


Цветное цифровое изображение

Байеровский шаблон



Демозаикинг (оценка пропущенных значений цвета)





Устранение мозаичности и ошибки



Original image



Bilinear interpolation

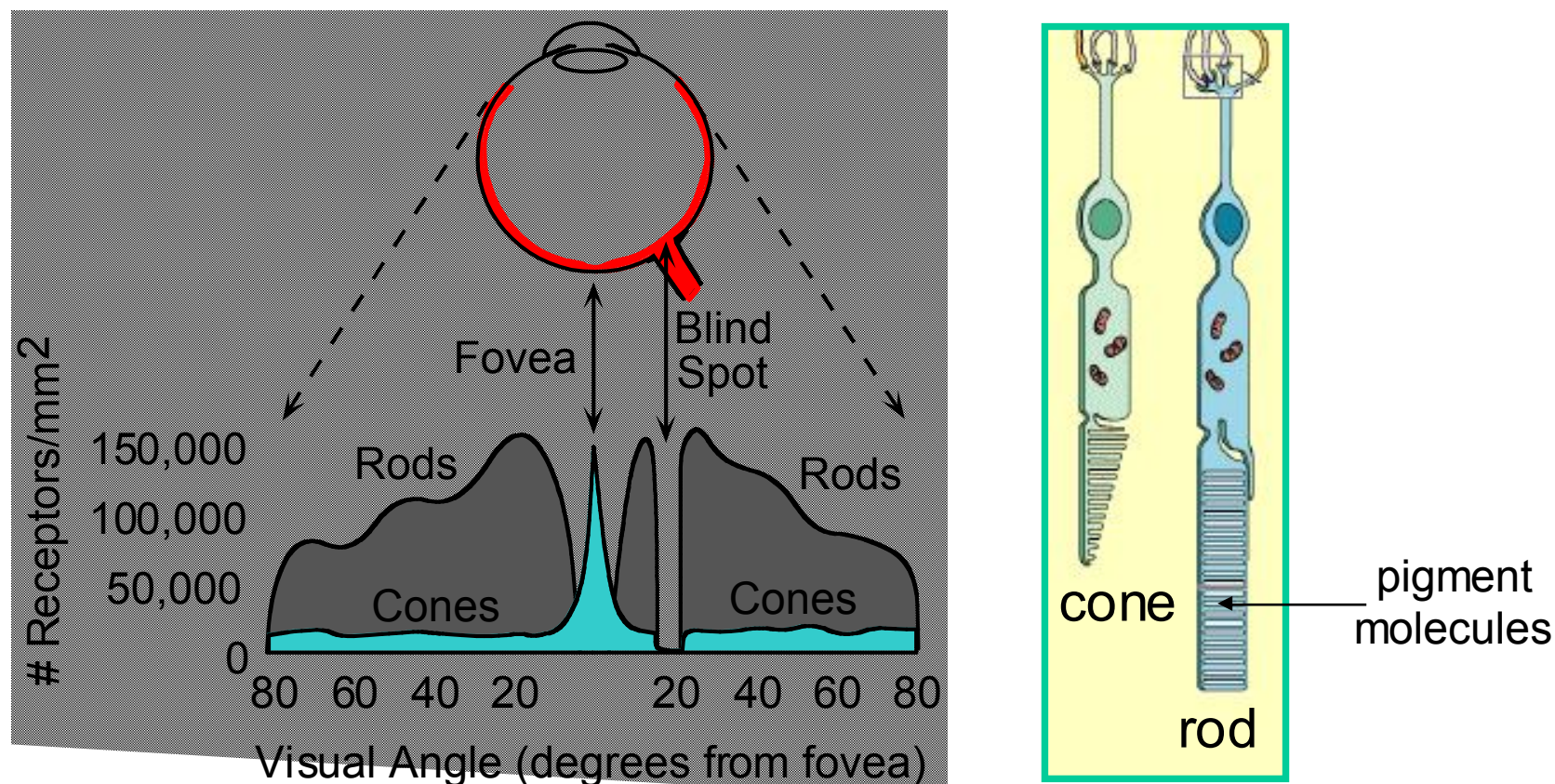


Proposed method

Тонкие черные и белые детали
интерпретируются как изменения цвета



Плотность палочек и колбочек

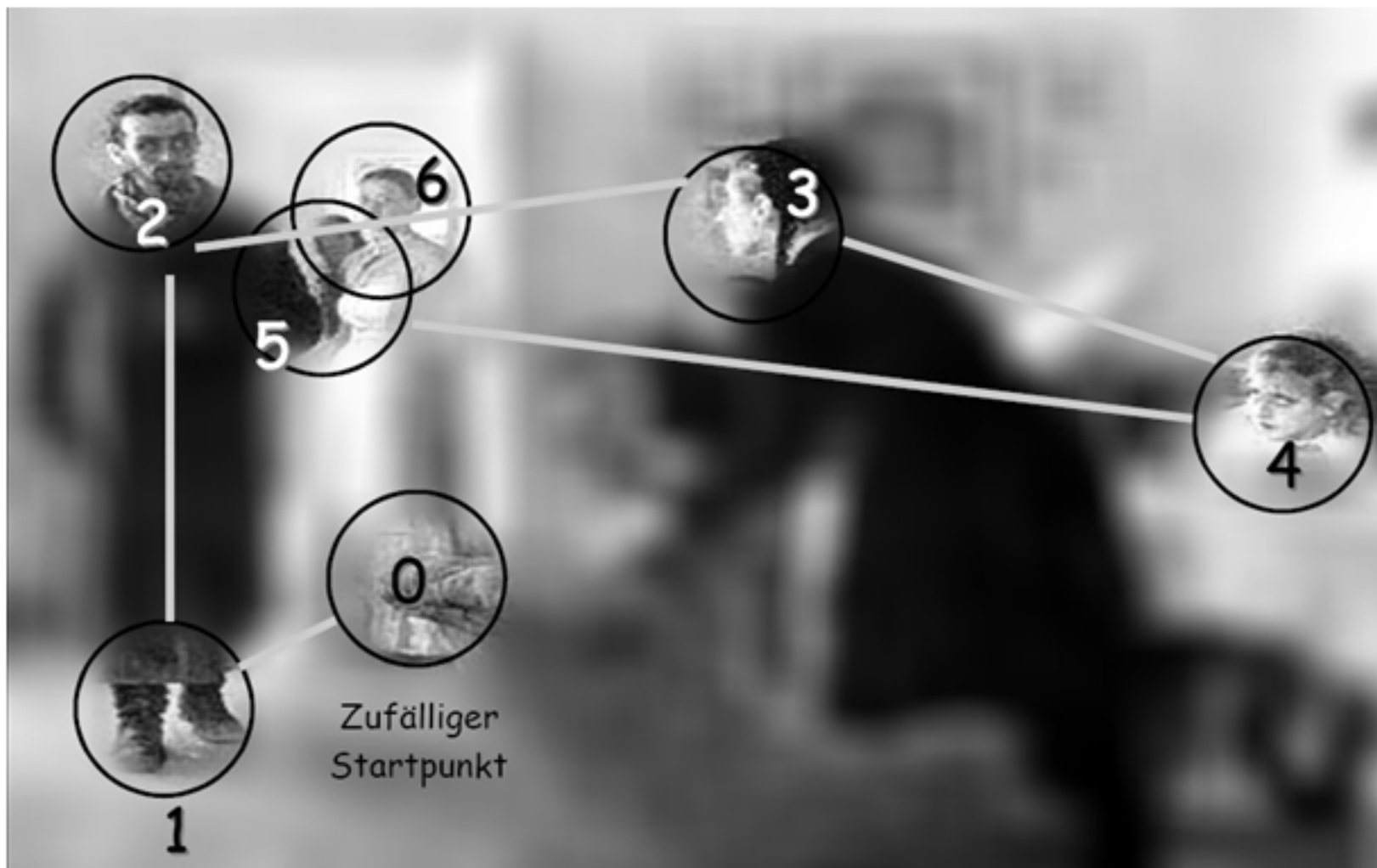


Палочки и колбочки распределены неравномерно

- Палочки измеряют яркость, колбочки цвет
- **Fovea** («желтое пятно»)– 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



Что мы на самом деле 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



Резюме

- Основные понятия компьютерной графики
- История компьютерной графики
- Устройство глаза и фотокамеры
- Трихроматическая теория
- Цветовые модели RGB, CMYK, HSV, YIQ