



Лаборатория компьютерной
графики и мультимедиа
ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова

Курс
«Введение в компьютерное зрение
и глубокое обучение»

Лекция №1
«Введение в предмет. Цифровое
изображение. Свет и цвет.»

Антон Конушин

Заведующий лабораторией компьютерной графики и мультимедиа
ВМК МГУ

27 февраля 2017 года



Лектор



Антон
Конушин

- Доцент, к.ф.-м.н., зав. лаборатории компьютерной графики и мультимедиа, каф. АСВК, ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова
- Доцент, академический руководитель программы бакалавриата «Прикладная математика и информатика» ФКН НИУ ВШЭ
- Лектор Школы Анализа Данных Яндекс
- Научный консультант компании «Технологии видеоанализа»
- Руководитель семинара «Компьютерное зрение» на АСВК

E-mail: ktosh@graphics.cs.msu.ru



Ассистент



- Аспирант НИУ ВШЭ
- Ассистент в Школе анализа данных Яндекса

Влад
Шахуро

E-mail: shahurik@ya.ru



Организационные моменты

- 8 лекций
- 6 практических заданий
- Сайт курса - <http://cv-gml.ru/>
- Все материалы выкладываются на сайте
- Задания сдаются через сайт курса
- Проверка заданий полностью автоматическая
- Слайды также доступны по:
<http://courses.graphics.cs.msu.ru>



План курса

- Введение в предмет. Цифровое изображение. Свет и цвет.
 - Тьюториал по питону (Прокудин-Горский)
- Основы обработки изображений.
 - Задание на Image retargeting (Умный ресайз)
- Модель камеры и сопоставление изображений.
 - Задание на склейку панорам.- конкурс
- Основы машинного обучения
- Классификация изображений
 - Задание на распознавание дорожных знаков. - конкурс
- Свёрточные нейросети, ч.1 (нейрон, градиентный спуск, персептрон, свёрточные слои, идея иерархических признаков / или дропаут, размножение данных)
 - Задание на нейросети. Регрессия ключевых точек на лице. (+дропаут, размножение данных) - конкурс
- Свёрточные нейросети, ч.2 (визуализация, распознавание по лицу)
- Свёрточные нейросети, ч.3. (предобученные признаки и дообучение,. Архитектуры. Style transfer)
 - Задание на дообучение сети - конкурс



Зачем этот курс?

- Познакомиться с основами компьютерного зрения, машинного обучения и нейронных сетей (глубокого обучения)
- Научиться работать на Python
- Узнать и попробовать на практике некоторые методы распознавания и машинного обучения
- Обучить 2 нейронные сети, 1 классификатор SVM и сделать 3 программы по обработке изображений
- Получить оценку за матспецкурс
- Результаты курса играют большую роль при собеседовании в лабораторию компьютерной графики на семинар «Компьютерное зрение»



Лаборатория компьютерной графики



Баяковский
Юрий
Матвеевич

<http://graphics.cs.msu.ru>

- Выросла из курса «Компьютерная графика», читаемого с 1983 года
- Основана в 1998 году, официально утверждена как подразделение ВМК в 2002 году
- Сейчас 10 сотрудников, 8 аспирантов и 50 студентов
- Основные направления:
 - Компьютерное зрение
 - Обработка видео
 - Вычислительная фотография
 - Фотореалистичная компьютерная графика
 - Анализ медицинских изображений



Сотрудничество с компаниями

- Инфраструктурные гранты Интел в 1998 и 1999 году
- Часть совместной лаборатории МГУ-Самсунг в 2002-2008
- Часть совместного исследовательского центра Microsoft Research – MSU в 2010-2017 годах
- Проекты с Intel, Samsung, Microsoft Research, Яндекс, Real Video, Yandex, Octonus, etc.
- Выпускники во множестве компаний + ряд стартапов, организованных выпускниками лаборатории



GeoCV.com

Marketing

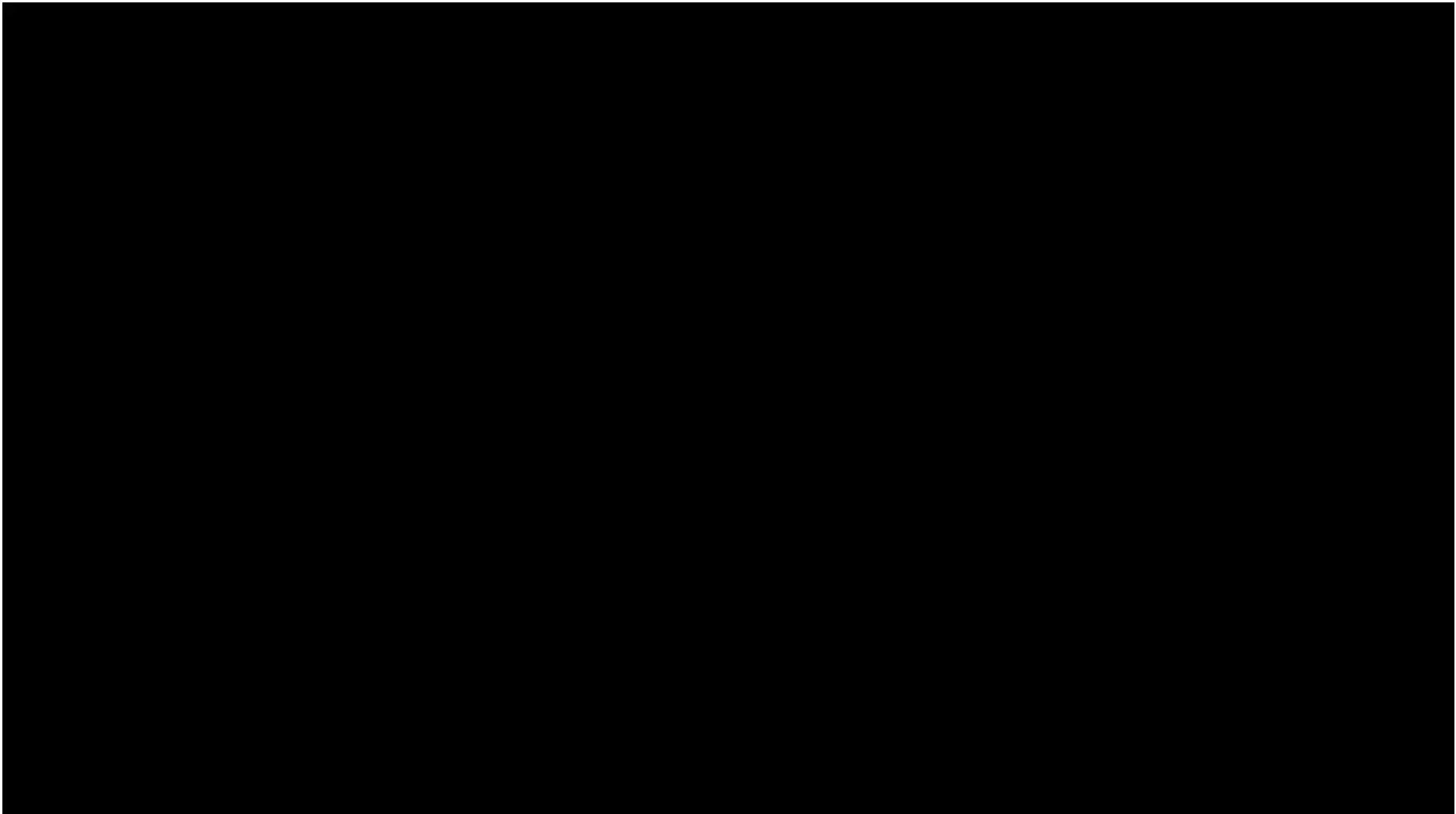
GeoCV

Why 3D Tours New Technology Pricing Contact Us

click & hold
to rotate



texel.graphics





Yuvsoft.com

YUV SOFT 3D video

- Home
- 3D Products
- Technologies
- Success Stories
- Conversion Services
- About

STEREO-TO-MULTIVIEW

STEREO-TO-MULTIVIEW [read more...](#)

◀ ▶

2D to Stereo 3D

YUVsoft is an R&D company offering professional software for 2D-to-stereo 3D semiautomatic conversion as well as stereo video conversion and quality enhancement. We also offer various enhancements, analysis...

Search

GO

- 2D to 3D Suite
- Stereo Processing Suite
- Stereo Processing Lite

Latest News

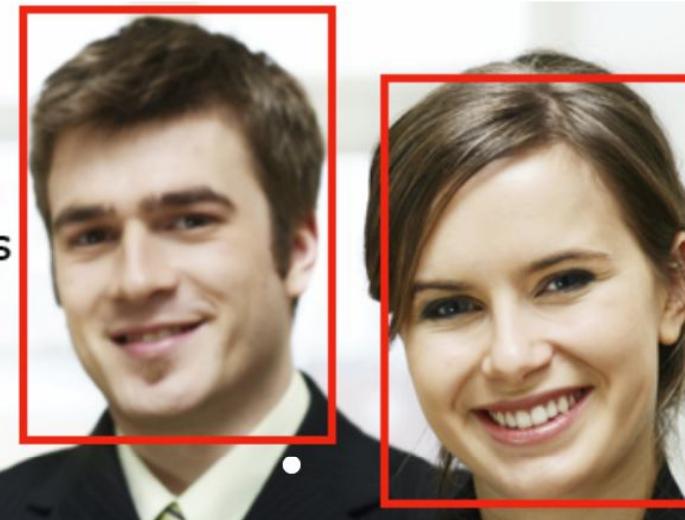
[Subscribe](#)

- » Nuke 10 is supported for [2D to 3D Suite](#)
- » [See demo video](#) on VR 360 mode of Stereo Generator
- » Support for After Effects CC 2015 is returned for [2D to 3D Suite](#). [Read more...](#)
- » New version of [2D to 3D Suite](#) with 32-bit accurate [Stereo Generator](#) is released
- » [Doraemon 3D](#) animation movie is a smash hit in Japan
- » Viy 3D movie success and [stereo 3D conversion](#)



Viewers: 2

- male
- 30-35 years
- smiling



- female
- 25-30 years
- smiling

Video Analysis Technologies is a young innovative company, established in 2010 by graduates of the [Computer Graphics and Multimedia Lab, Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University](#) which is one of the leading research groups in computer vision in Russia

We specialize in applied R&D in the field of computer vision with primary focus on video analysis. Range of possible applications of our technologies includes security surveillance systems, audience analysis for Digital signage, intelligent search in video archives, augmented reality systems, etc.

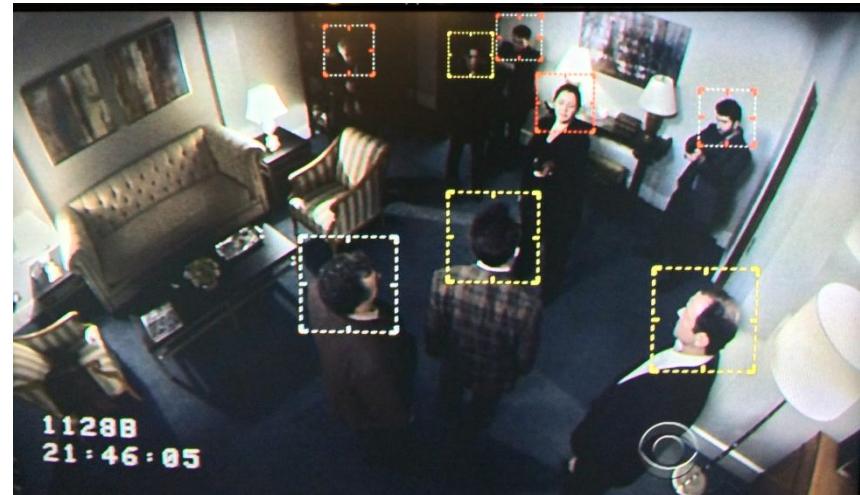
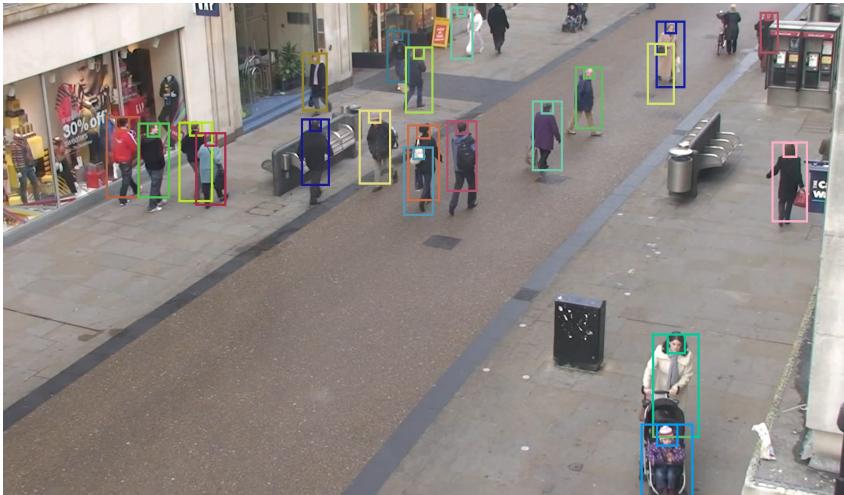
In 2010 our project "Video-based demographic and behavioral audience analysis system" was supported under the START program of [State Fund for Support of Small Enterprises in the Scientific-Technical Fields](#). In 2011 the project was extended for the second year. In 2013 our company received a status of Skolkovo resident with a project "Automatic annotation of video surveillance data for business intelligence and security systems"

At this point our key technologies are:

- gender and age classification
- face recognition
- face features detection



Про группу «компьютерное зрение»



- Базируемся на ВМК МГУ и ФКН ВШЭ (аспиранты и там и там)
- Основное направление – видеоаналитика, весь комплекс алгоритмов для выделения, отслеживания, распознавания людей и других объектов в видео



Видеонаблюдение



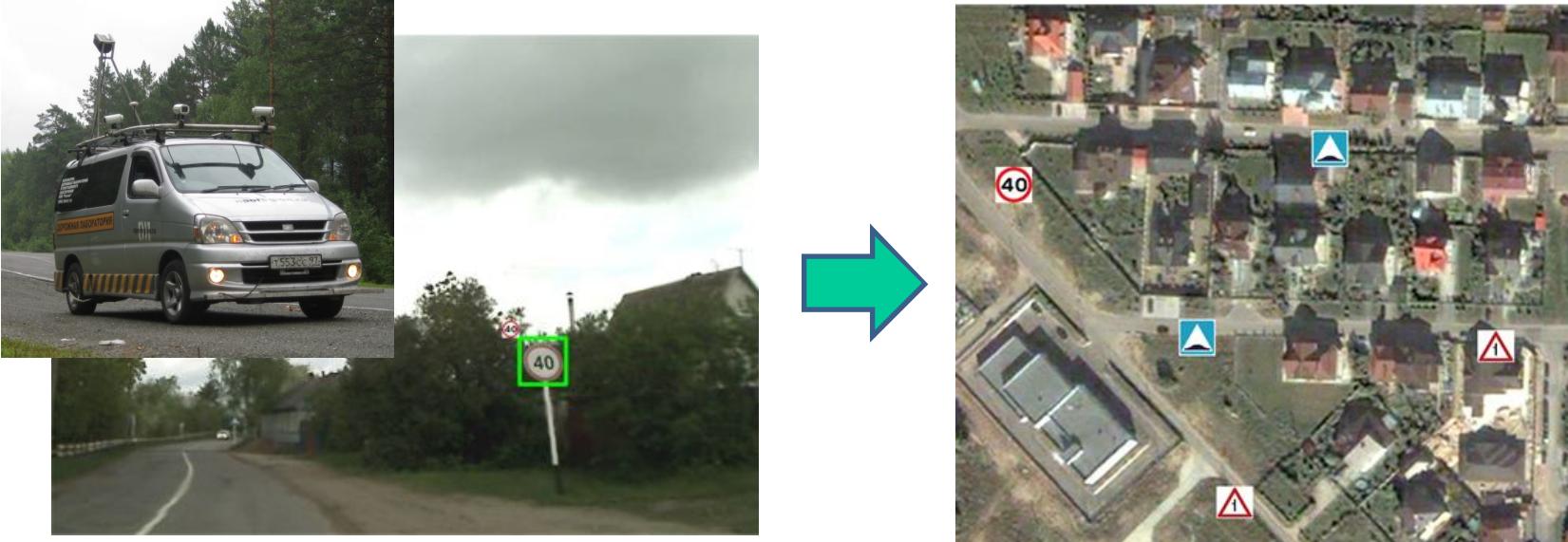


Выделение лиц людей

Демонстрация работы
алгоритма обнаружения
лиц в сложных условиях



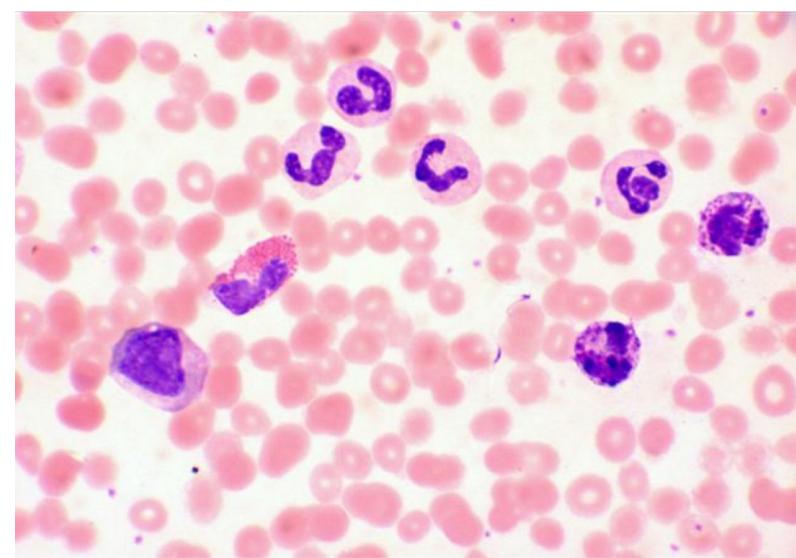
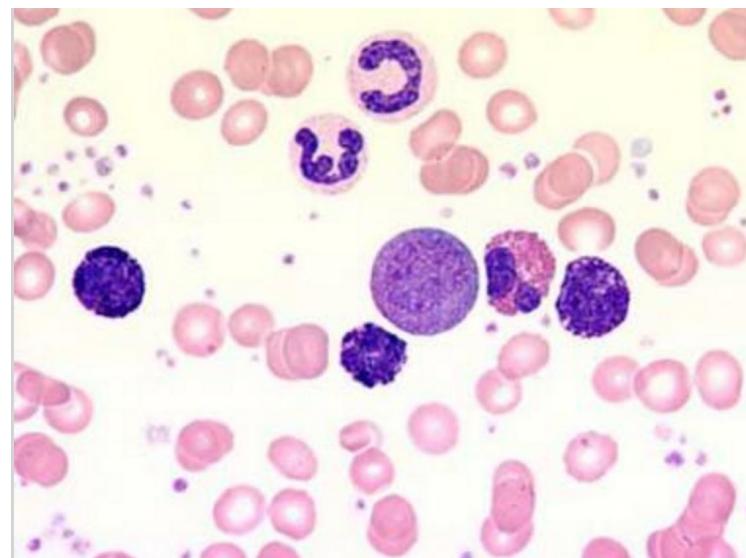
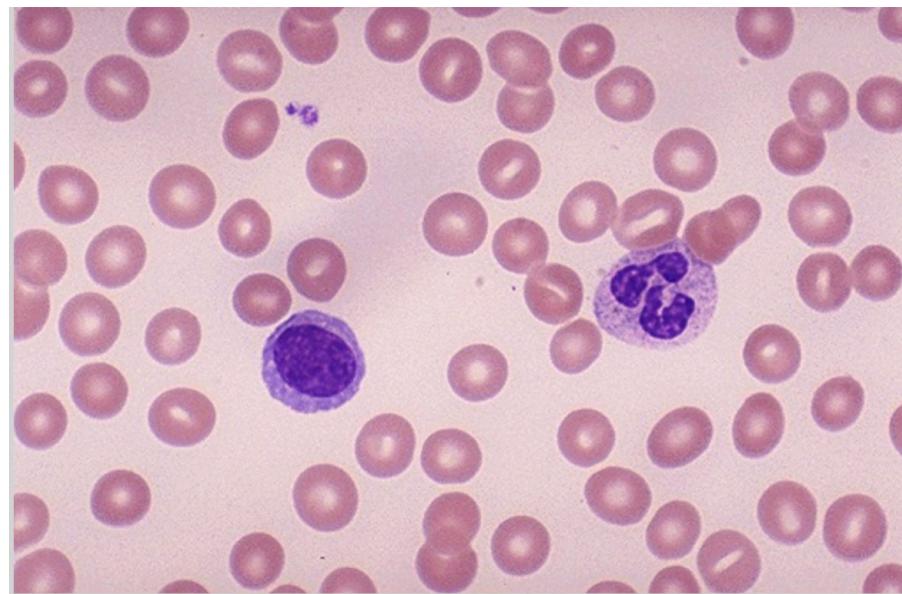
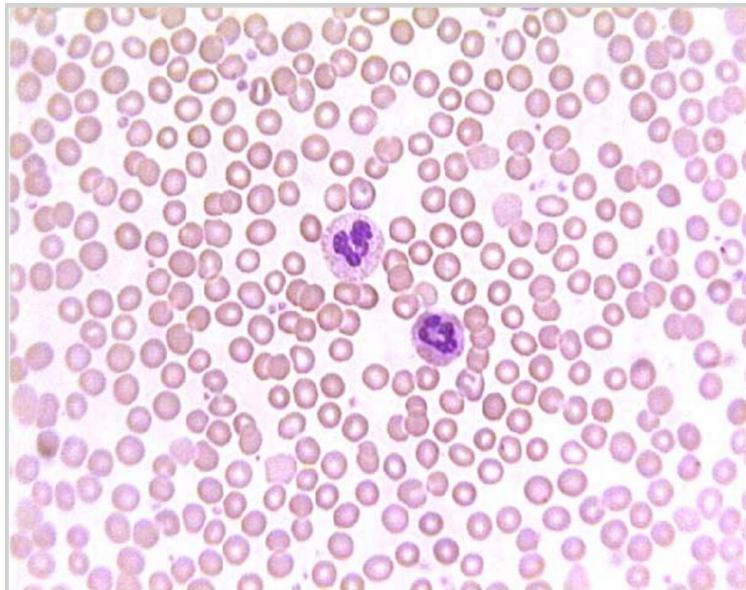
Распознавание с камер на машинах



- Сбор эталонных данных - Russian Traffic Sign Dataset
- Выделение и классификация дорожных знаков
- Синтетические данные



Медицинские изображения (образцы крови)





План лекции

- Что такое «компьютерное зрение» и почему это сложно
- История компьютерного зрения
- Цифровое изображение
- Глаз человека и цифровая камера
- Цвет и модели цвета

Что такое «компьютерное зрение» и
почему это сложно?



Что такое компьютерное зрение?



Задача зрения: понять, что находится на изображении

Компьютерное зрение:
построение компьютерной
модели системы зрения

Компьютерное зрение –
часть области искусственного
интеллекта (AI)

Тест Тьюринга для компьютерного зрения:
Ответить на любой вопрос про изображении, на
который может ответить человек.

Source: S. Narasimhan



Что и где находится на изображении?



Необходимо определить, есть ли на изображении объекты заданного типа и если да, то определить их положение



Какой?



Характеристики (атрибуты) отдельных объектов



Какой формы?

Стерео-зрение

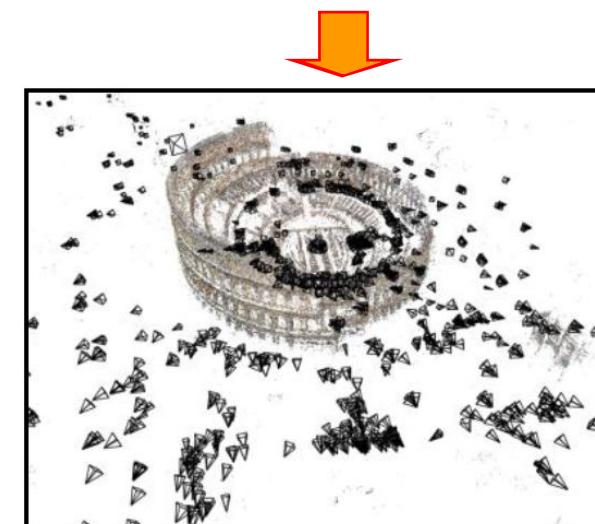
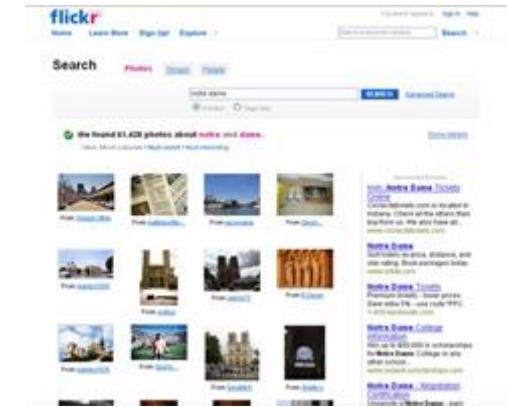


Измерения
расстояний по
снимкам



Измерение расстояний и формы объектов

3D моделирование по
снимкам





Почему зрение – это сложно?

Попробуйте придумать причины,
затрудняющие анализ изображений!



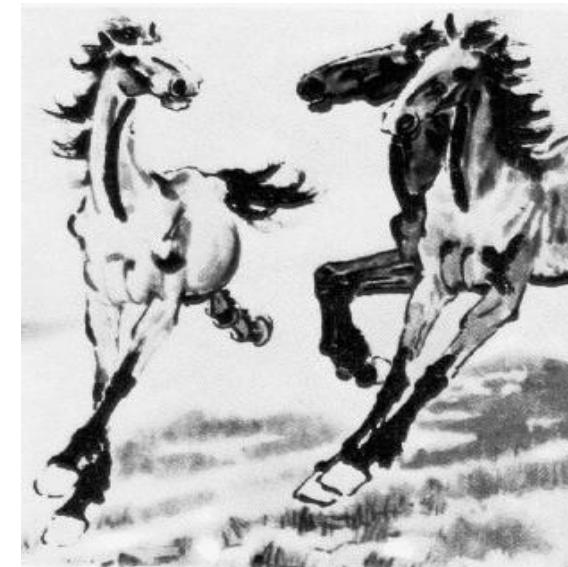
Изменчивость изображений объектов



Ракурс съёмки



Освещение



Внутриклассовая изменчивость, размер, деформация объектов



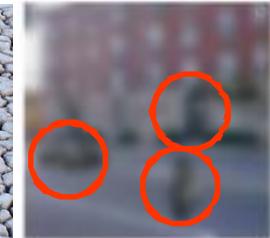
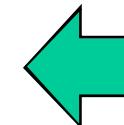
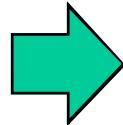
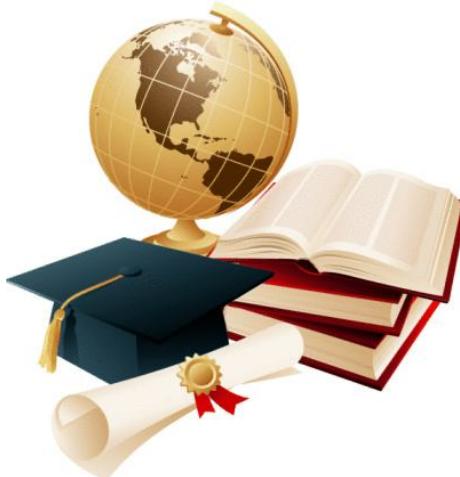
Несколько интерпретаций



Одно 2D изображение допускает разные 3D
интерпретации



Зрение человека

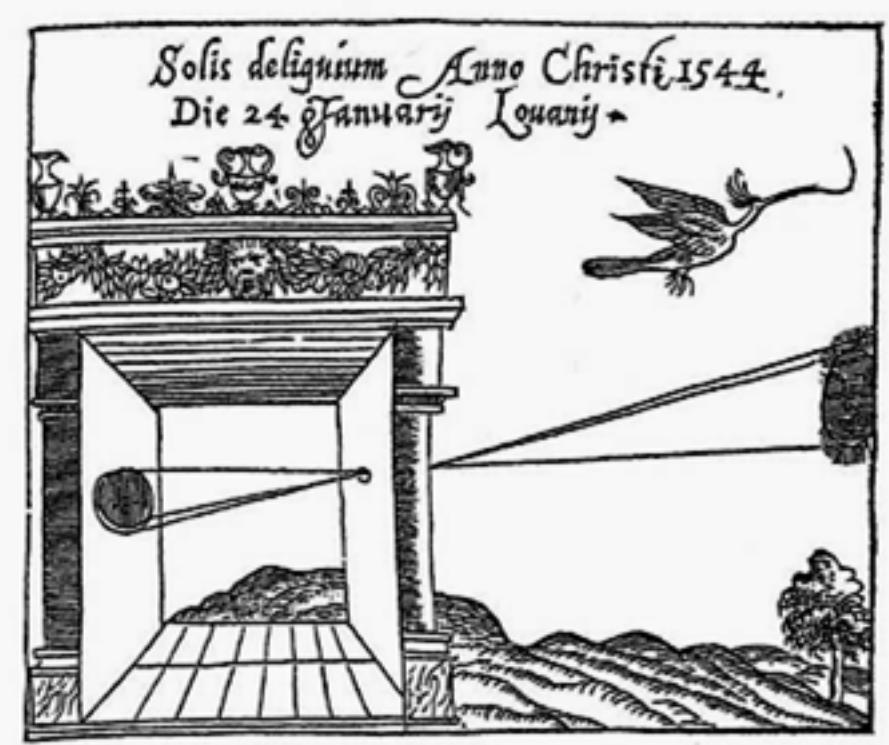


- Мы сопоставляем наблюдения (подсказки) и априорные знания для интерпретации изображения
- По оценкам, 25% мозга занято решением задачи зрения
- Какие подсказки и априорные знания вы можете придумать/вспомнить?

История компьютерного зрения



Камера-обскура



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



Живопись Ренессанса



Яна Ван Эйк «Портрет Четы Аренольфини» 1434г



Секреты мастеров



BBC David Hockney's «Secret Knowledge»



Камера-обскура с линзой (1500-1600е)



Возможность проецировать изображение на большой холст. Побочный результат – много левшей на картинах





Камера-люцида (1807)



Художник, глядя на свой рисунок одним глазом, видит реальное изображение, а другим — собственно рисунок и свою руку. Получается оптическая иллюзия, позволяющая точно переносить пропорции реальные на бумагу.

Camera Lucida — устройство, которое представляет собой конструкцию с призмой, которая крепится, например, на стойке к планшету.



“Магический фонарь” (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

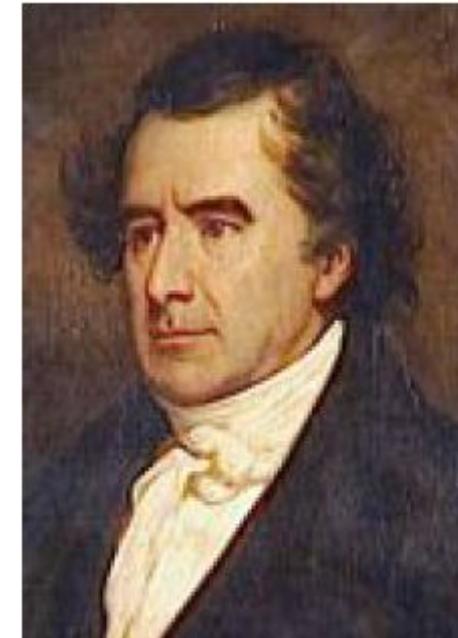


Figure 8. Dominique François Jean Arago.

1840 – «Фотограмметрия – будущее геодезии»

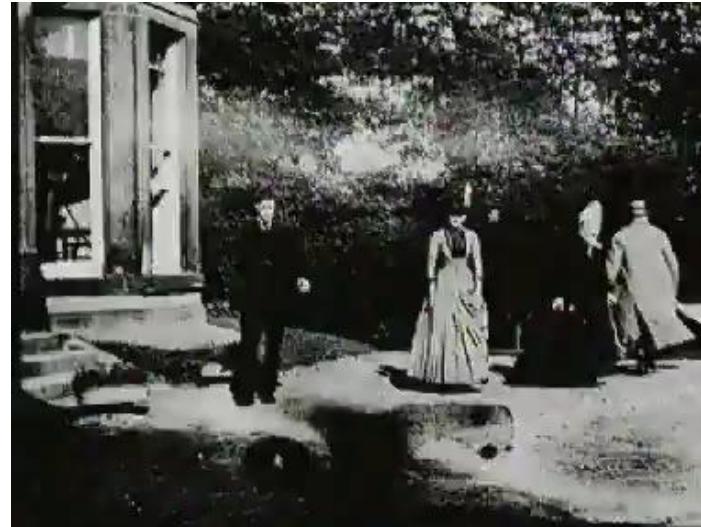
Фотограмметрия (Photogrammetry) - измерение расстояний между объектами по 2D изображениям



Видео



1878 – первая скоростная съемка, Eadweard Muybridge



1888 – первое кино на плёнке, Louis Le Prince



Стереофотограмметрия (1896)



Figure 17. Edouard Deville.

Стереокамера и
теодолит

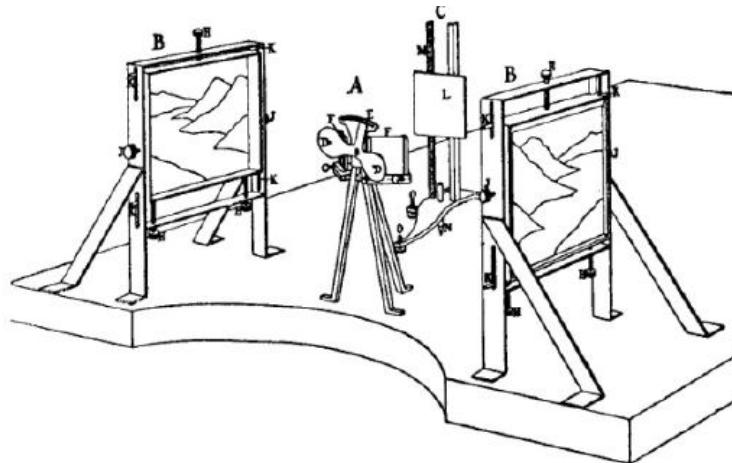


Figure 18. Deville's Stereo Planigraph.

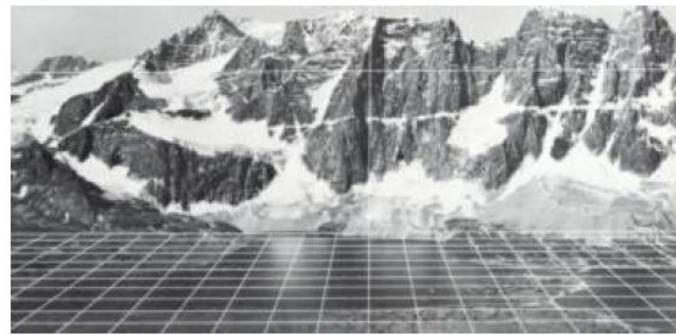


Figure 19. Illustration of the Canadian Grid Method used by Deville.



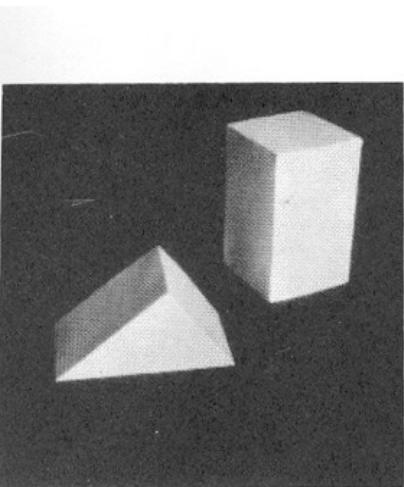
Whirlwind, MIT (1951)



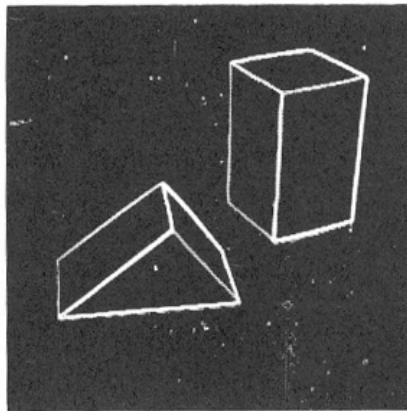
- Первый компьютер, отображающий текст и графику в реальном времени на мониторе
- Точками карту, значком самолёт.
- «Световое перо» для взаимодействия с экраном (запрос информации об объекте)



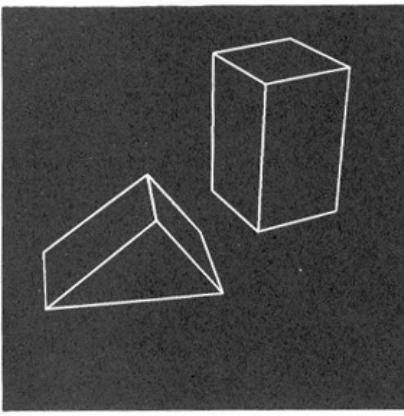
Зарождение компьютерного зрения (1960)



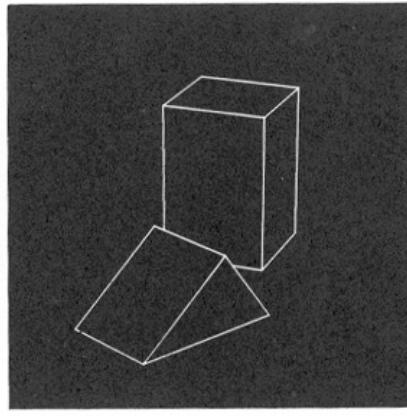
(a) Original picture.



(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



SketchPad, MIT, 1963



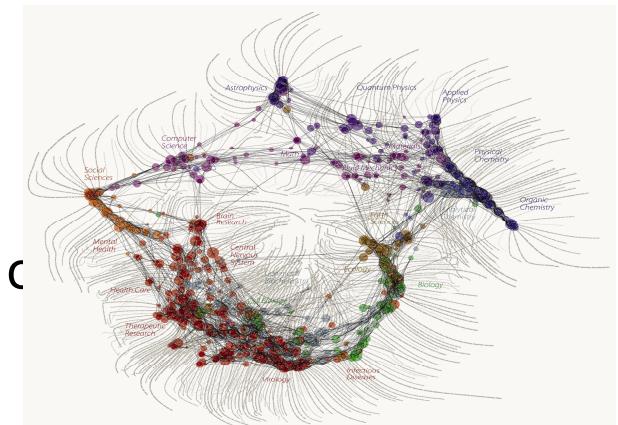
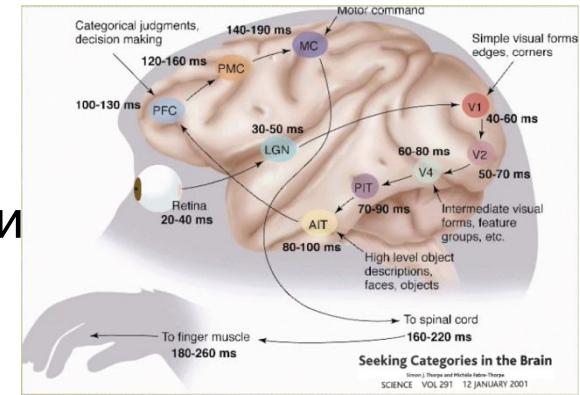
GIRL TRACED FROM PHOTOGRAPH

Ivan Sutherland демонстрирует интерактивный
графический редактор SketchPad



Давид Марр (1970e)

- «Primal sketch»
 - Низкоуровневые («low-level») свойства изображения: направленные края, отрезки и т.д.
 - «2.5D sketch»
 - Упорядочивание по глубине (бинокулярное стерое), учёт текстуры и т.д.
 - «3D model»
 - Распознавание объектов и представление в 3х мерном мире



“The Marr Prize” – главная премия в области компьютерного зрения



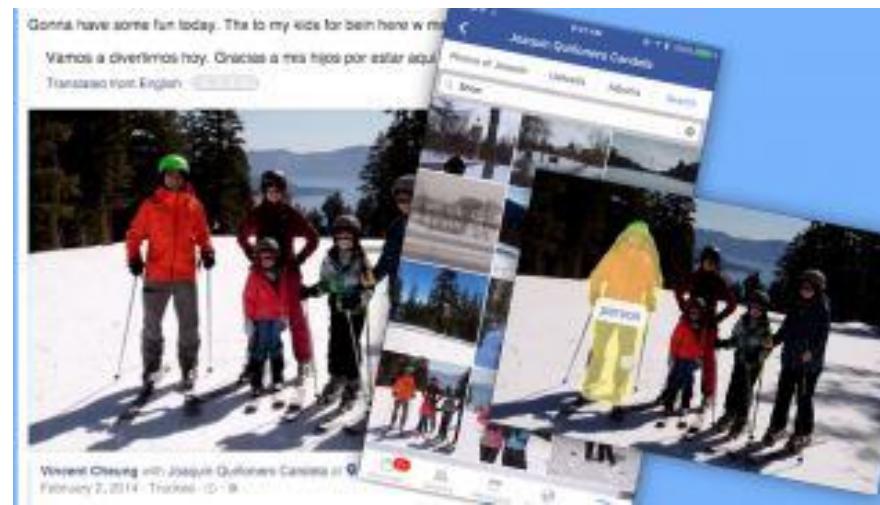
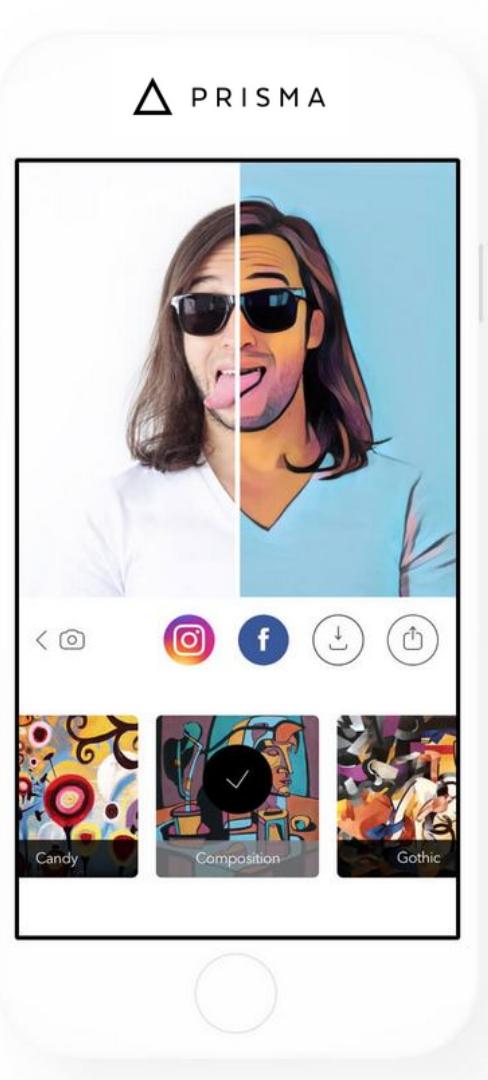
Детектор лиц Viola-Jones (2001)



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



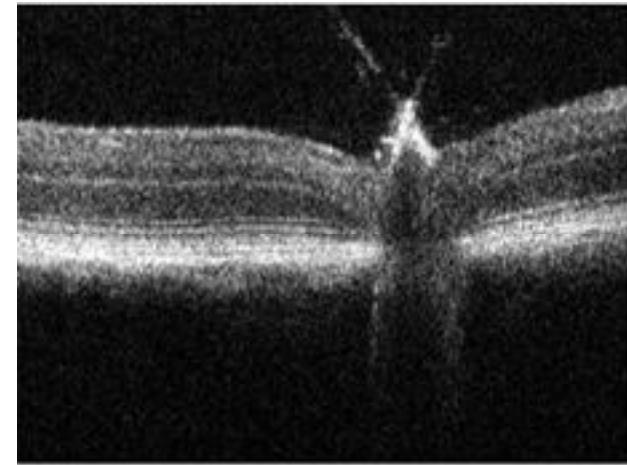
Глубинное обучение (Deep learning)



Цифровое изображение



Изображение



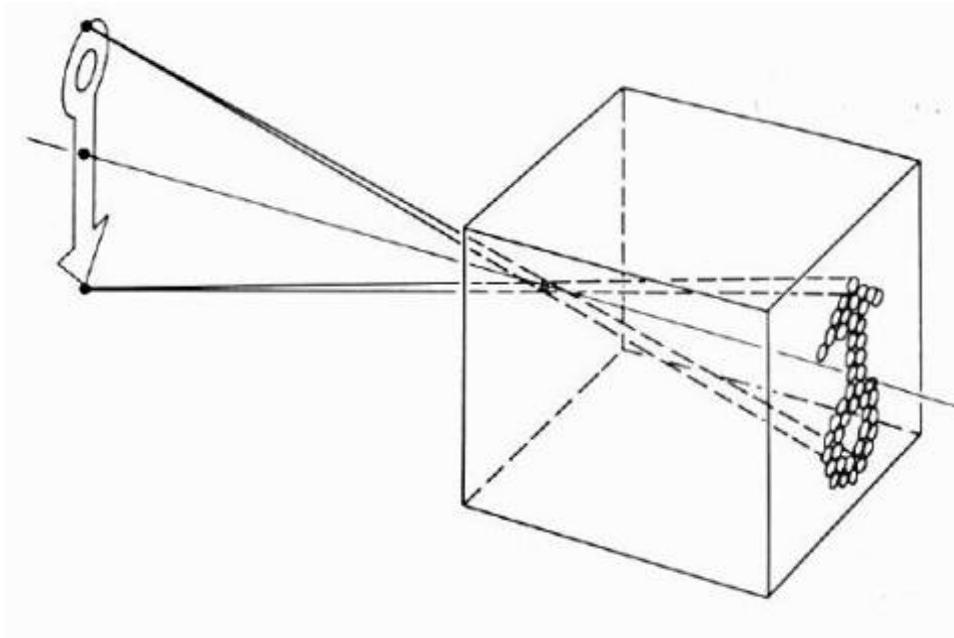
Изображение оптическое – картина, получаемая в результате прохождения через оптическую систему лучей, распространяющихся от объекта, и воспроизводящая его контуры и детали.

(Физический энциклопедический словарь.)

Оптические системы могут быть очень разными!



Камера-обскура



- Простейшее устройство для получения изображений
- Основная модель оптической системы получения изображений

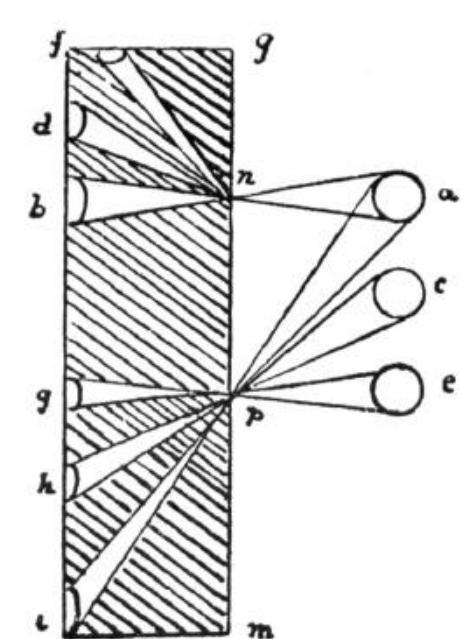
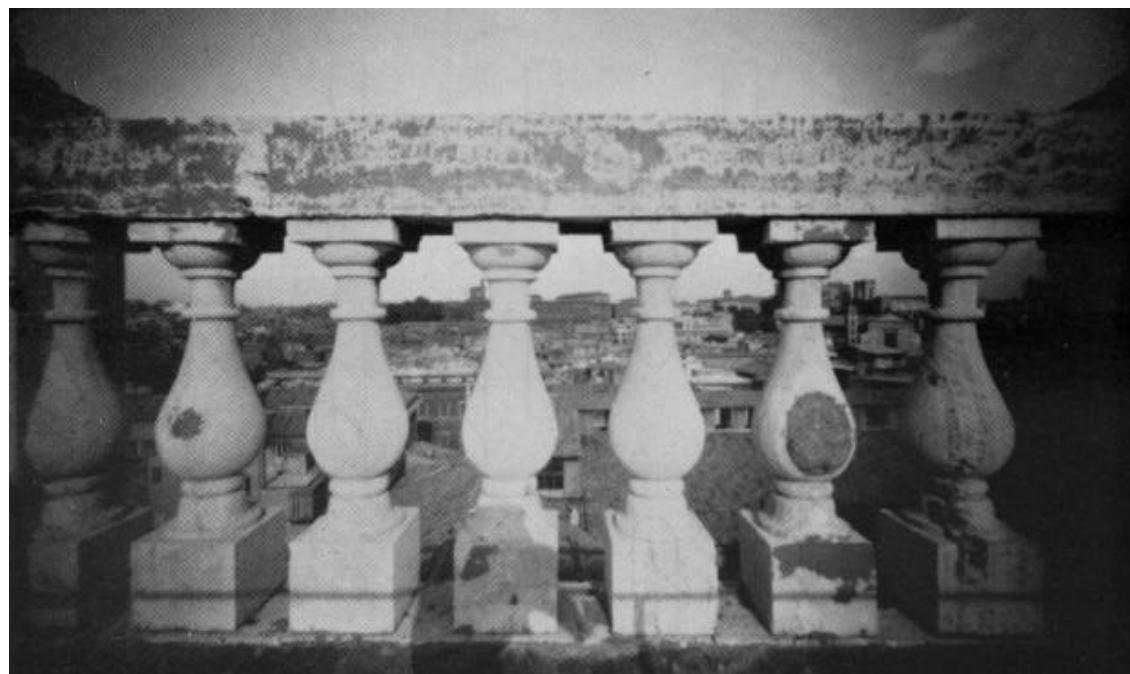
Математическая модель – перспективная проекция:

- Пучок лучей проходит через одну точку (точечное отверстие)
 - Эта точка называется «центр проекции» (фокальная точка / **focal point**)
- Изображение формируется на картинной плоскости (**image plane**)



Перспективные искажения

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





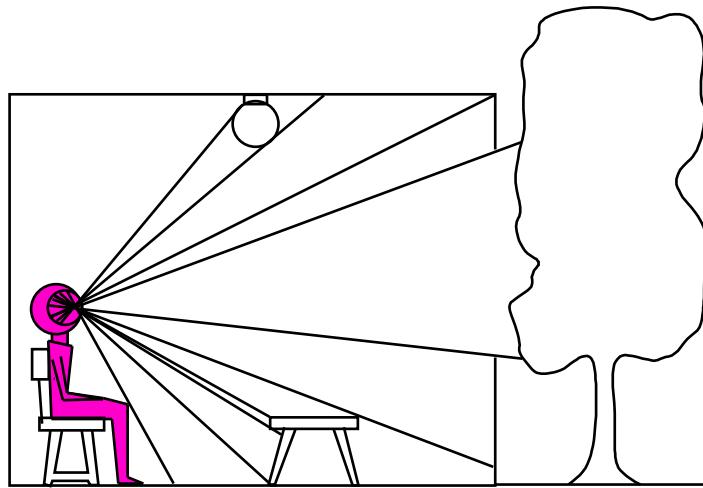
Ещё один пример



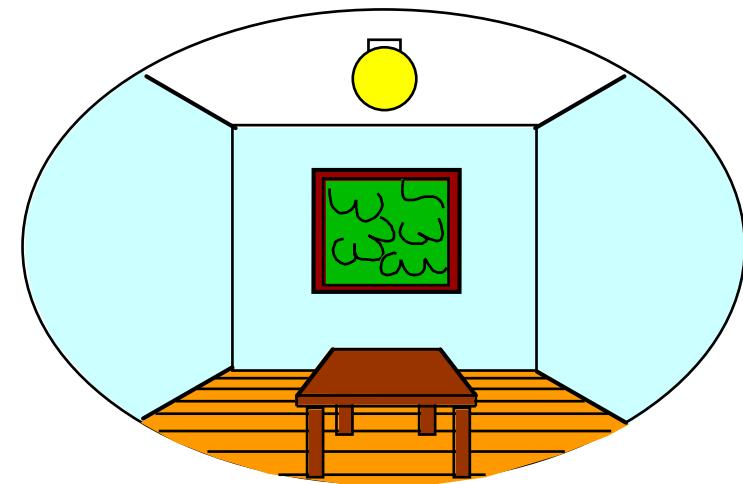


Машина Понижения Размерности

3D мир



2D картина



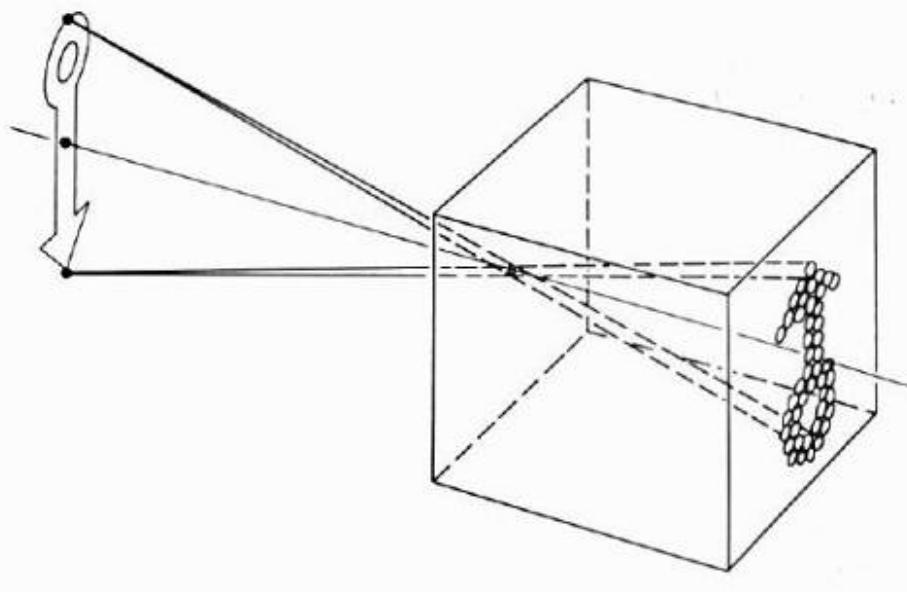
Что мы теряем?

- Углы
- Расстояния и длины

Подробнее геометрическая
модель рассматривается
позже



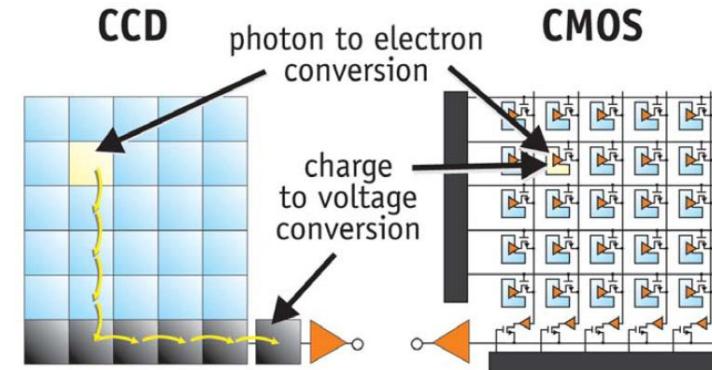
Современная камера



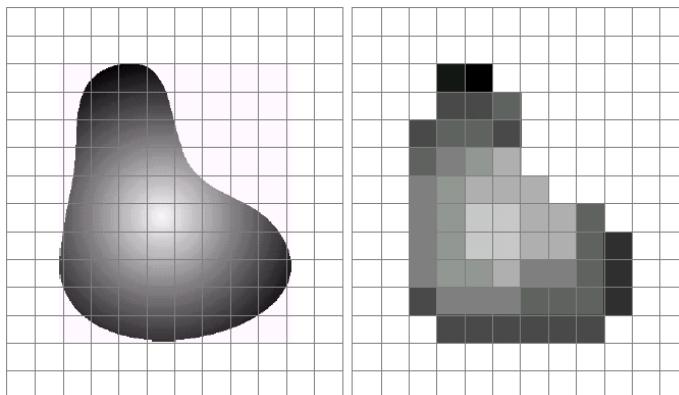
Тот же самый принцип, но с объективом и
цифровой матрицей



Цифровая камера - дискретизация

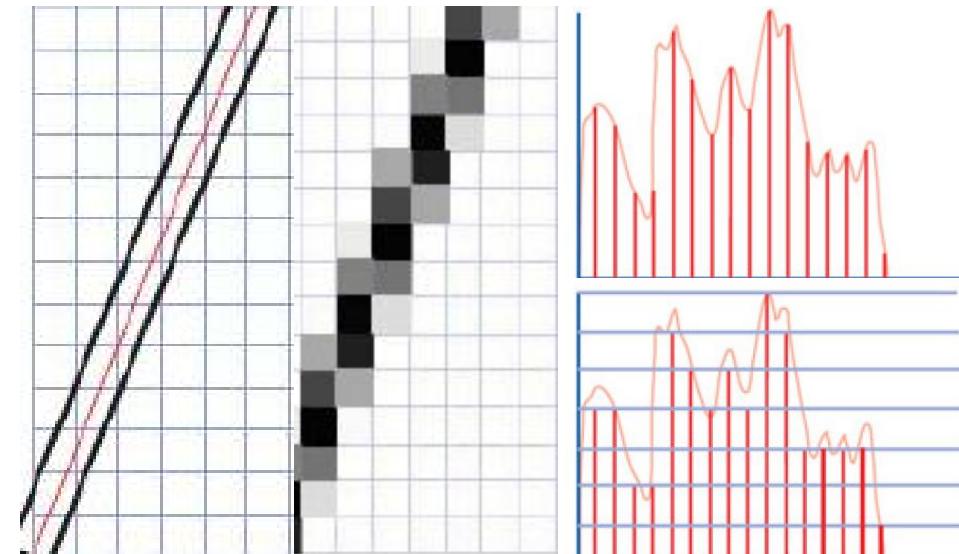


CCDs move photogenerated charge from pixel to pixel and convert it to voltage at an output node. CMOS imagers convert charge to voltage inside each pixel.



a b

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



По пространству

По яркости



Первое цифровое фото (1957)



Разрешение
176*176 пикселов

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



Цифровое изображение

- Цифровое полутоновое изображение – матрица $I \in (b_{ij})^{n,m}$, элементами которой b_{ij} являются значения яркости света, измеренного на 2x мерной прямоугольной сетке
 - Про то, что такое «яркость» мы ещё отдельно поговорим
 - b (яркость) можно описать вещественным числом. Обычно ограничиваются интервалом $b_{ij} \in [0,1]$, где 0 (нет света), 1 (максимальная яркость)
 - Обычно b кодируем 1 байтом, т.е. $b \in [0,255]$
 - Можем использовать большую точность (10-16бит)

Свет и цвет



Цветные фотографии??

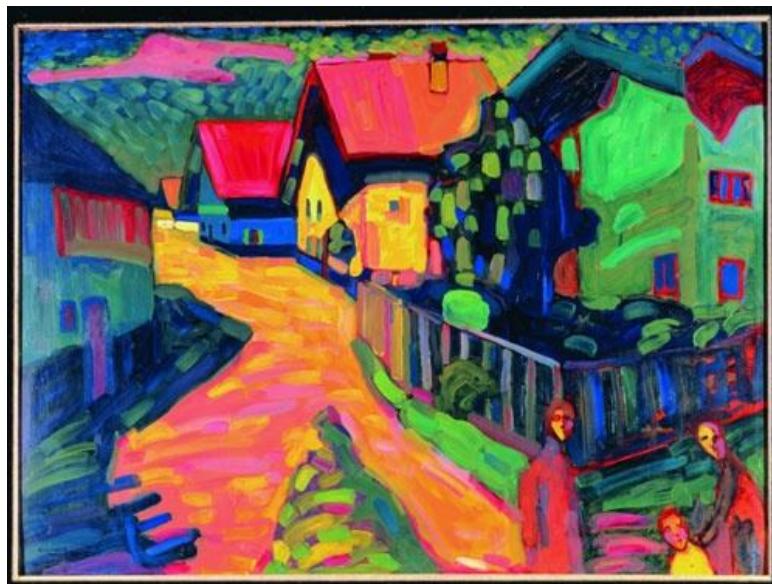




Что такое цвет?

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

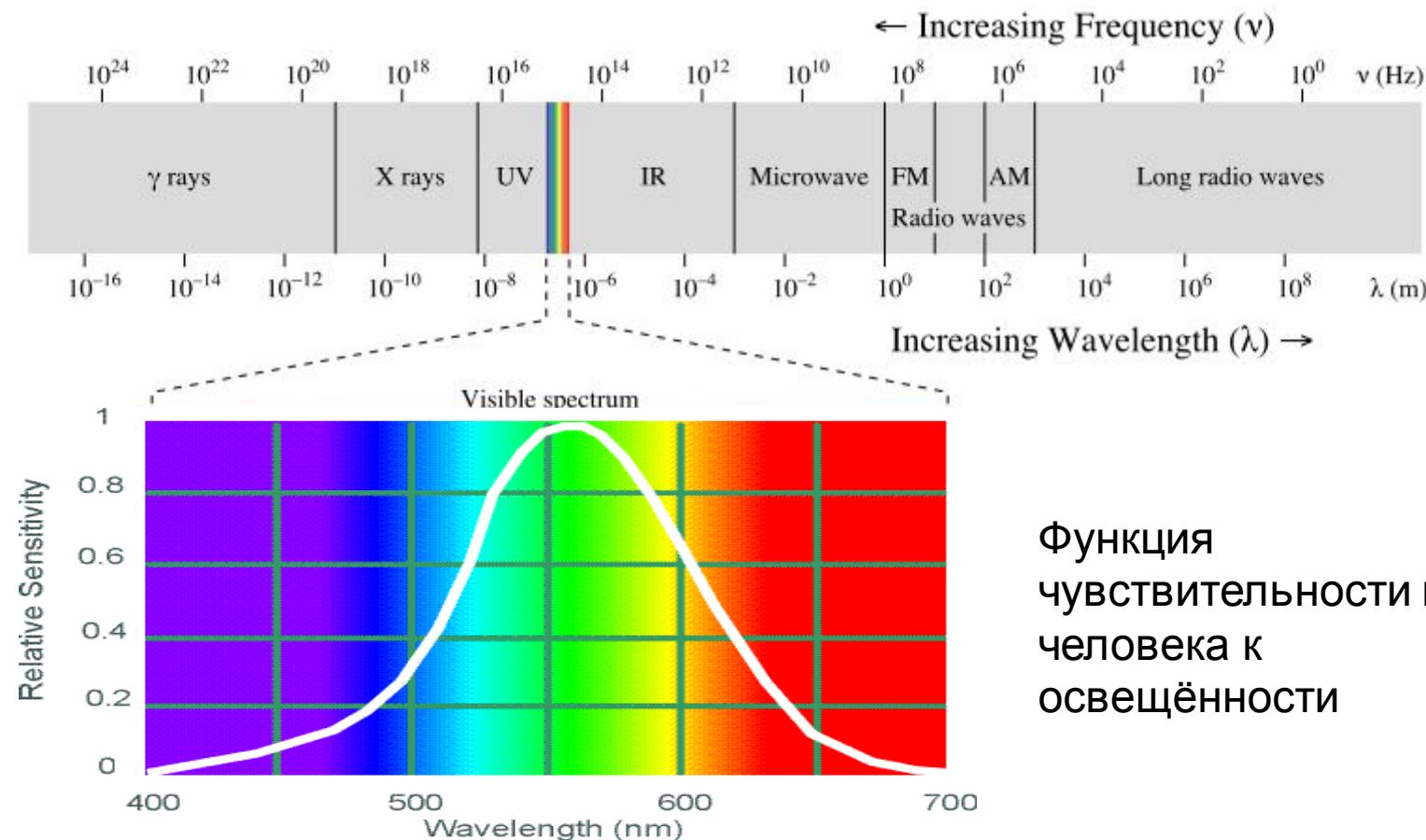


Восприятие света
человеком изучают
науки фотометрия и
колориметрия

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



Видимый свет



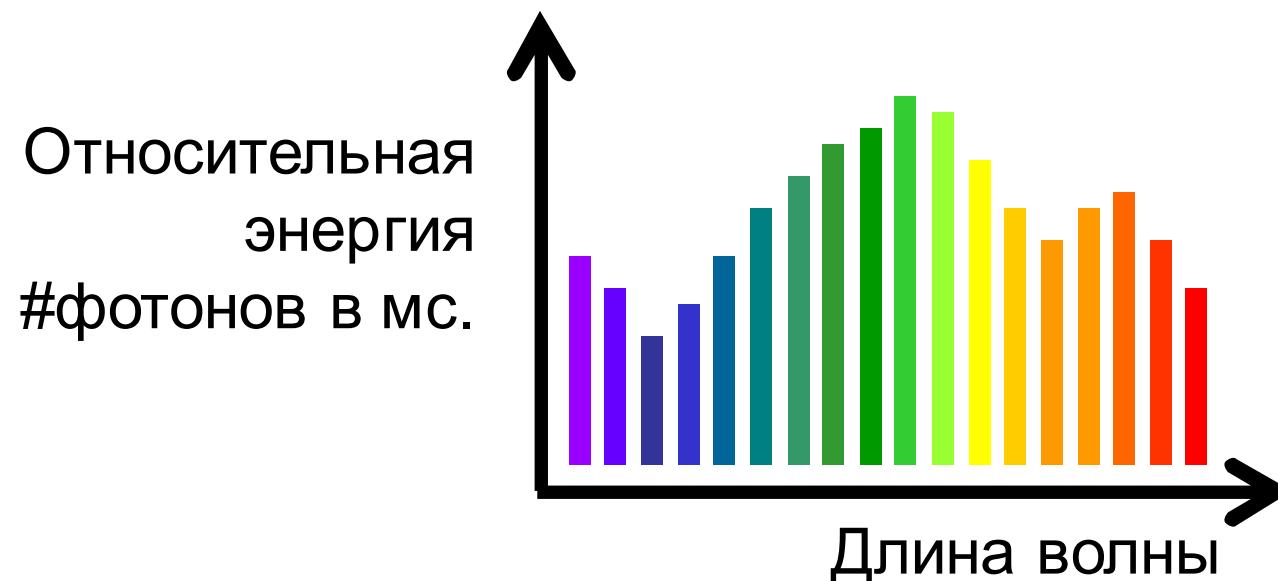
Функция
чувствительности глаза
человека к
освещённости

- Электромагнитное излучение в диапазоне [380nm, 780nm]
- Видимый свет попадает в основное «оптическое окно» земной атмосферы (~46% энергии)



Физика света

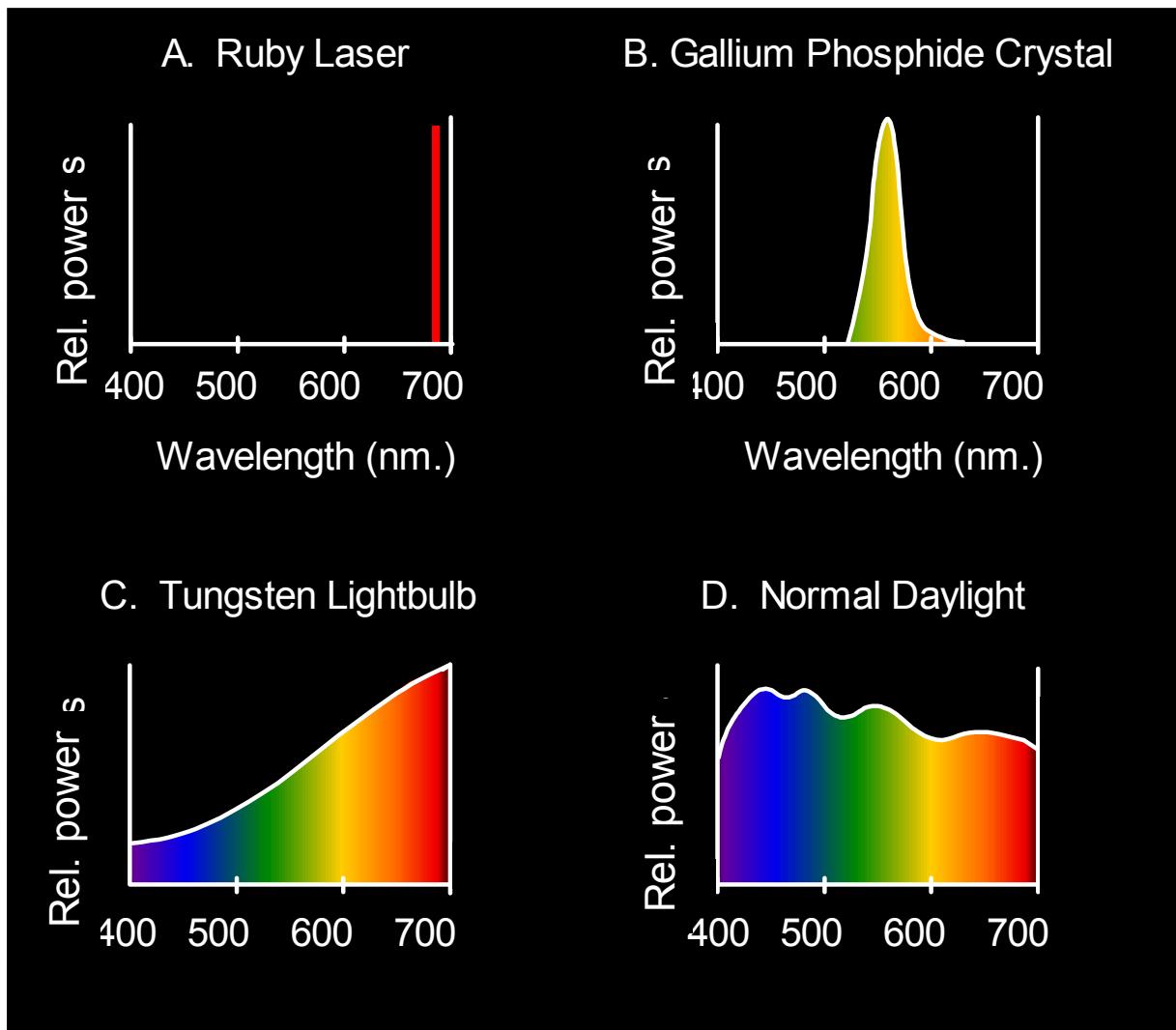
Любой источник света можно полностью описать спектром: количество излученной энергии в единицу времени для каждой длины волны в интервале 380 - 780 нм.





Физика света

Примеры спектров разных источников света

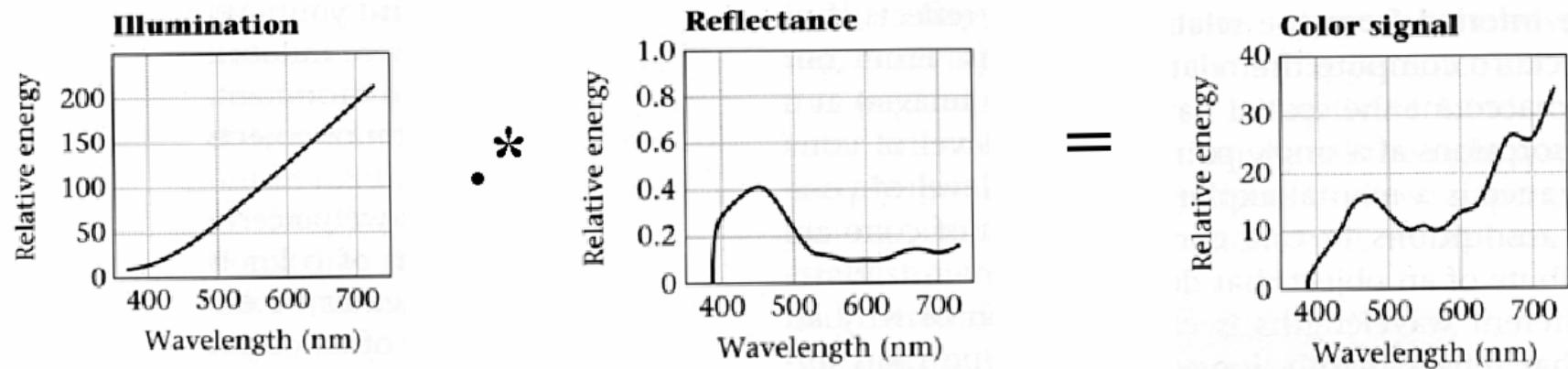




Взаимодействие света и объектов



Отраженный свет это
результат взаимодействия
излучаемого света и
поверхности



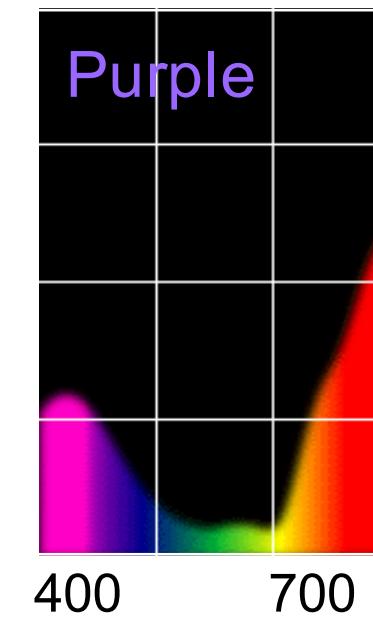
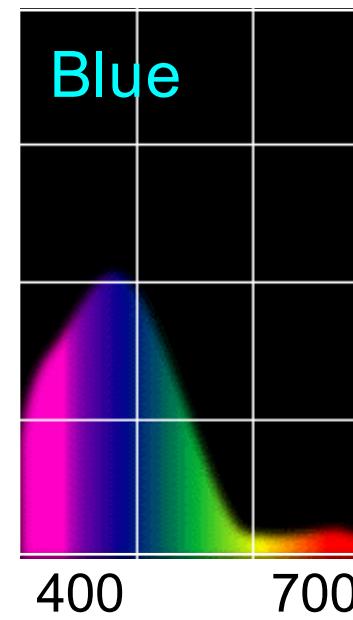
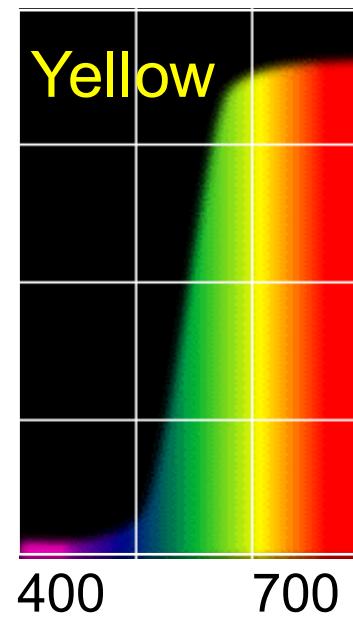
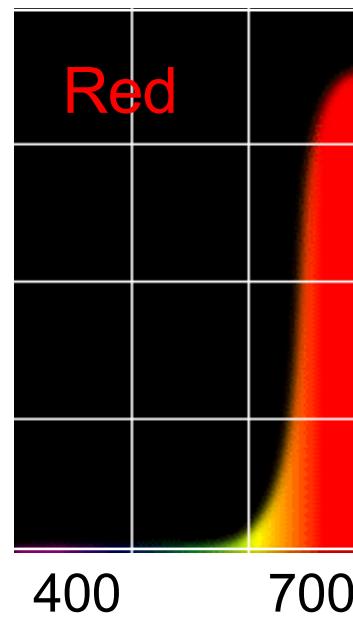


Физика света

Примеры спектров отраженного света от предметов

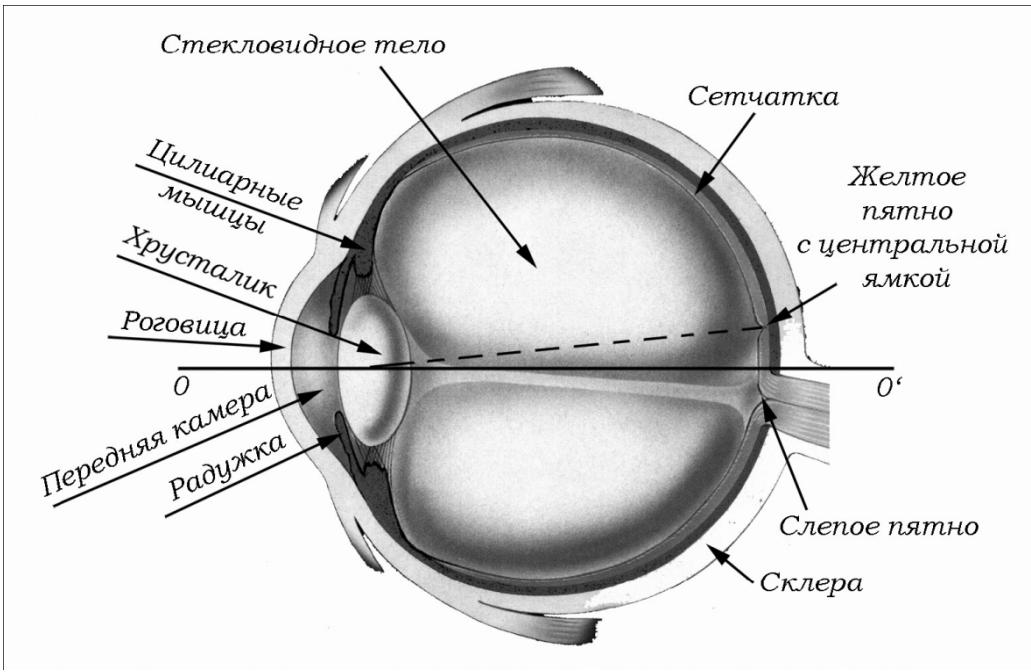


% Отраженного света





Человеческий глаз

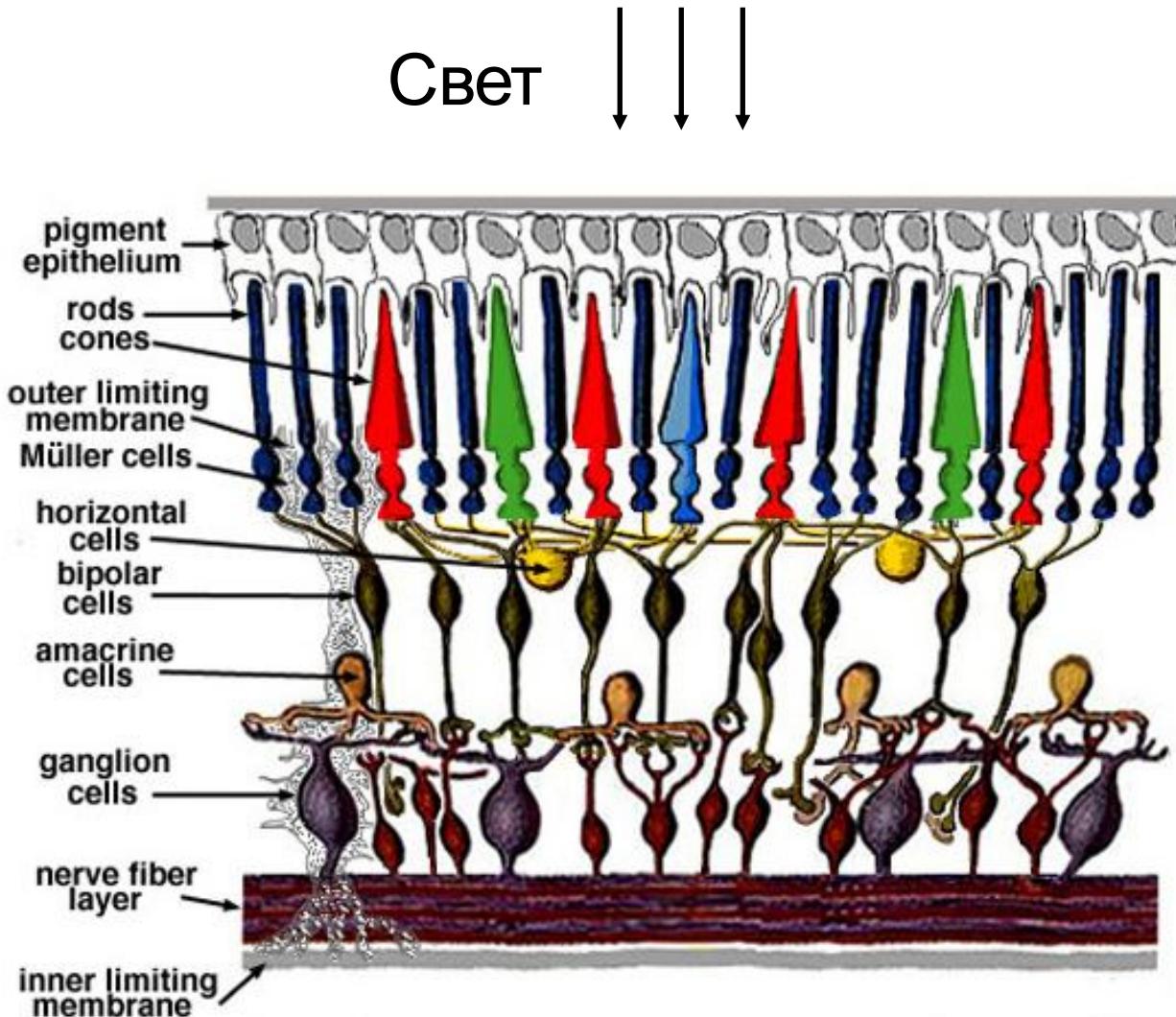


Глаз как камера!

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



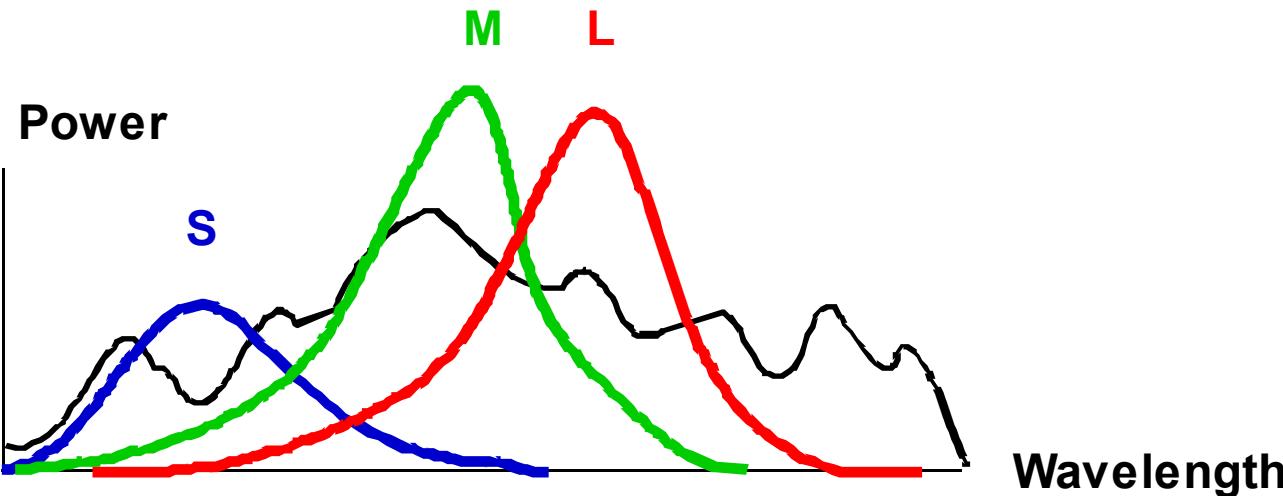
Сетчатка глаза



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



Восприятие цвета

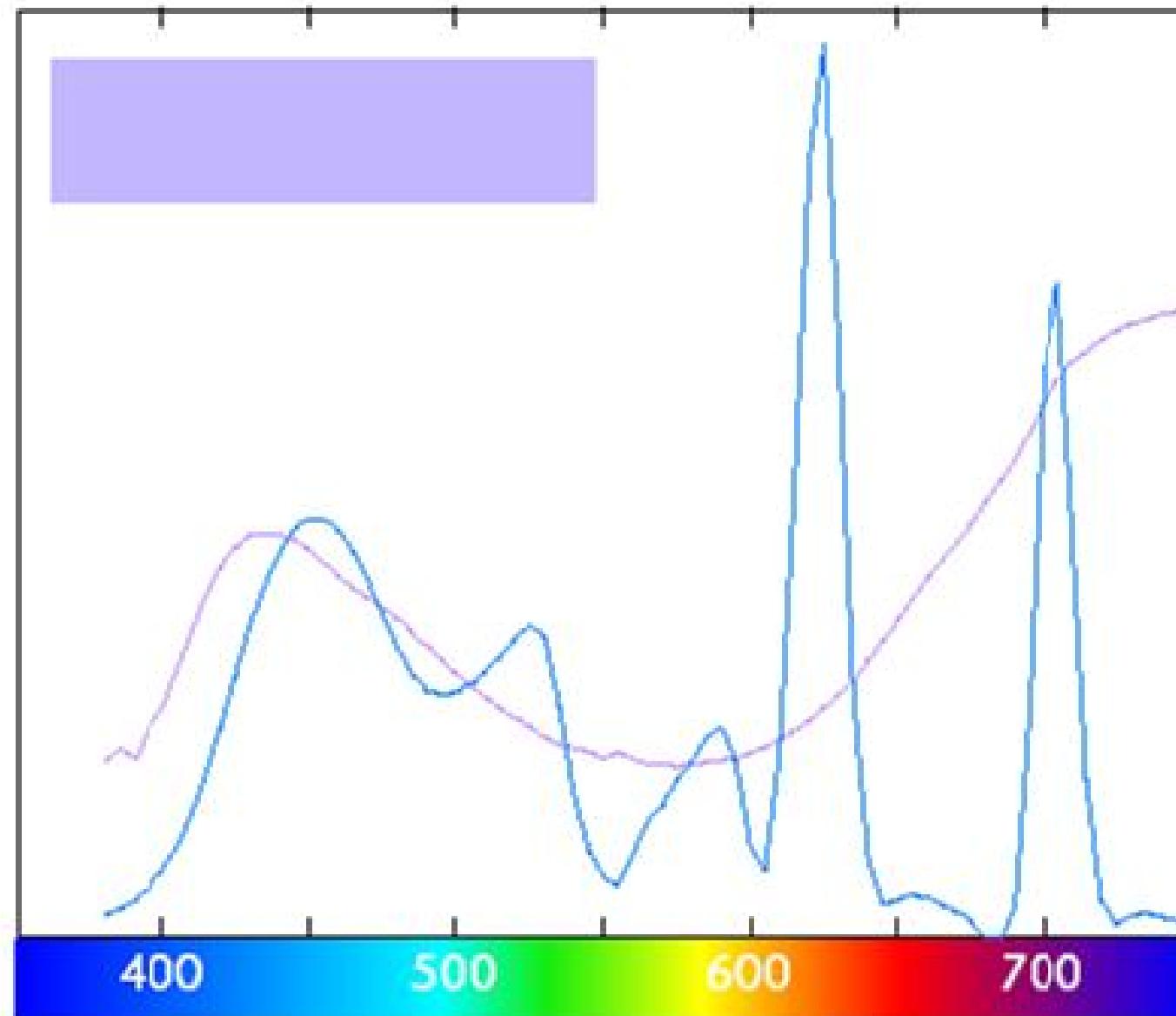


Палочки и колбочки – фильтры спектра

- 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 Змя числами?
- О: Мы и не можем! Большая часть информации теряется.
 - Два разных спектра могут быть неотличимы
 - » Такие спектры называются **метамеры**



Метамеры фиолетового



Цветовые модели



Цифровое цветное изображение

- Цифровое цветное изображение $X \in R^{n \times m \times c}$ – трёхмерная матрица (тензор ранга 3), в котором для каждого пикселя (x,y) хранится цвет.
- n,m – высота и ширина изображения
- c – число «каналов» (длина вектора, описывающего цвет пикселя)
- Обычно каждая компонента x_{ijk} дискретизируется до [0,255] в 8 бит

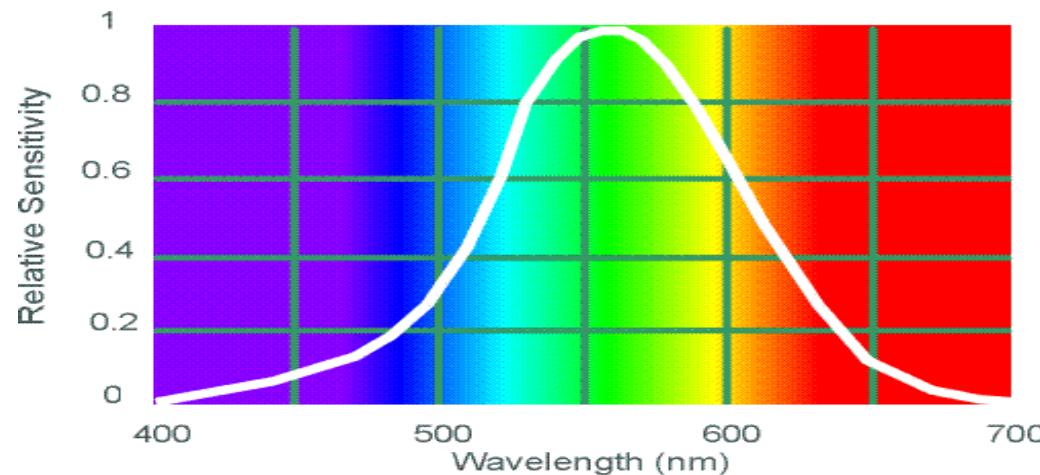
- Какое наиболее точное описание света, падающего на пиксель?



Яркость и цветность

Интуитивно можно выделить характеристики света:

- Яркость (brightness)
- Цветность (chromaticity)



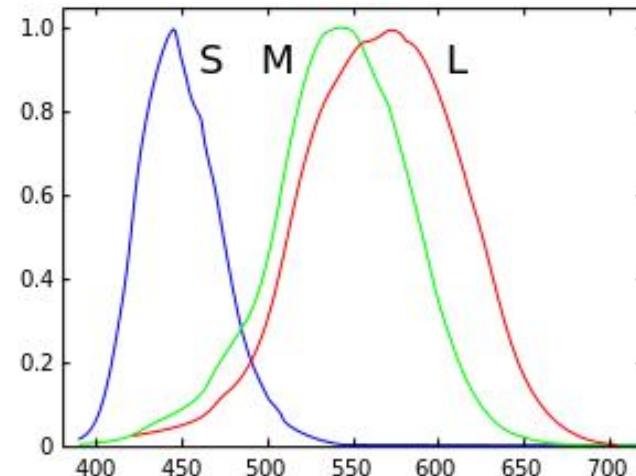
Функция чувствительности
глаза человека к свету
(воспринимаемая яркость)

В цветности можно выделить тон (hue) и насыщенность (saturation)



Модель LMS

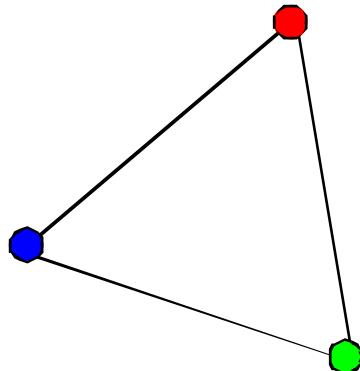
- Три значения, описывающие вклад (возбуждение), каждого из трёх типов фоторецепторов
 - L(long)
 - M(medium)
 - S(short)
- Некоторые комбинации значений LMS невозможны для реального света
 - $M > 0, S = L = 0$
- Невозможно на практике построить дисплей, работающий в LMS





Трихроматическая теория и линейные модели

- Выбираем базовые цвета $P_1, P_2, (P_3)$
- Остальные цвета задаются линейной комбинацией базовых цветов (primaries). Веса – «координаты» цвета



$$A = u_1 P_1 + u_2 P_2 + u_3 P_3$$

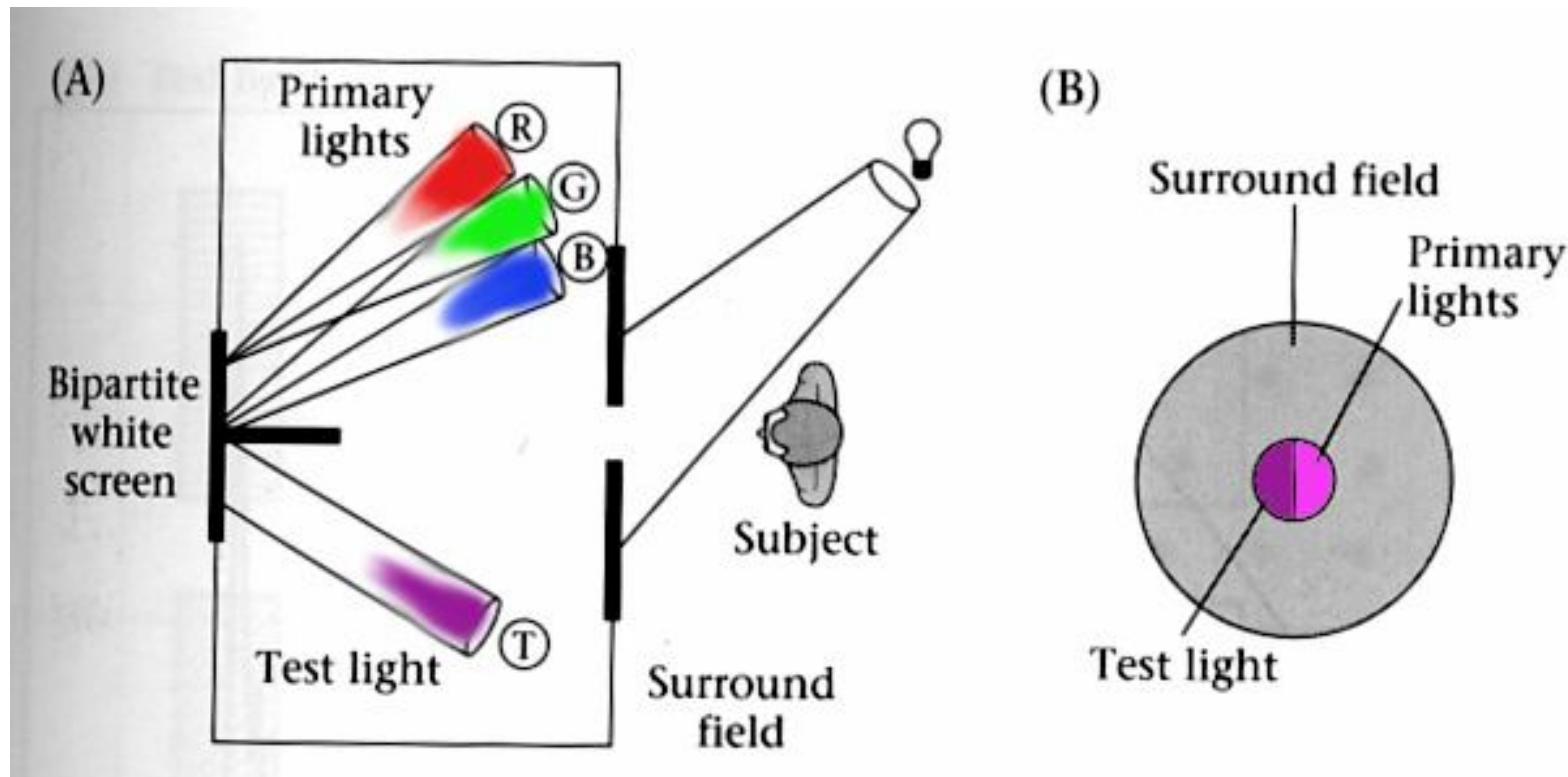
Смешение трех цветов

- Трихроматическая теория гласит, что все видимые цвета можем получить комбинацией трёх базовых цветов
- Можем делать эксперименты по сопоставлению цветов



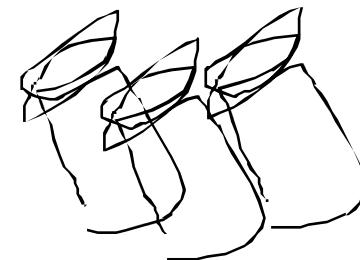
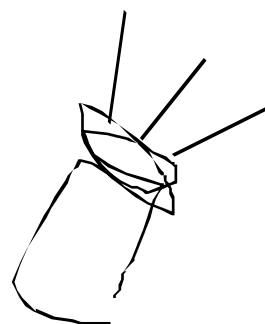
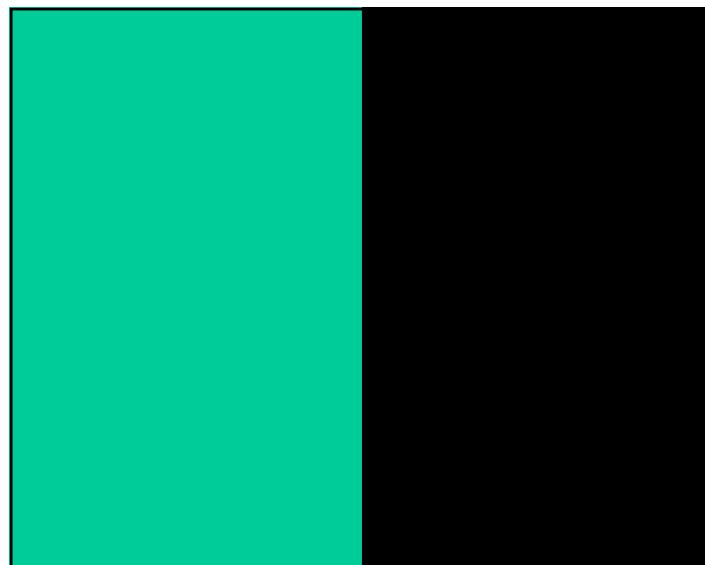
Сопоставление цветов

- Берём «тестовый» источник и пробуем сопоставить его комбинацией базовых цветов (источников света)





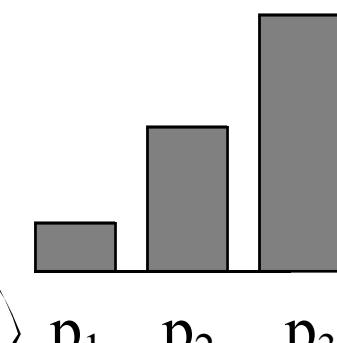
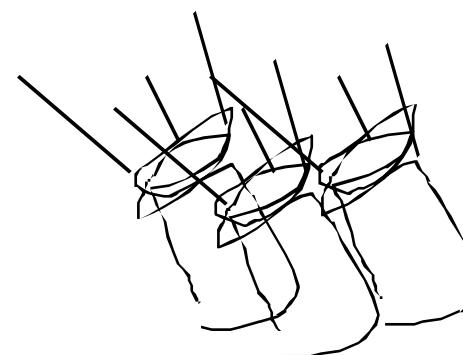
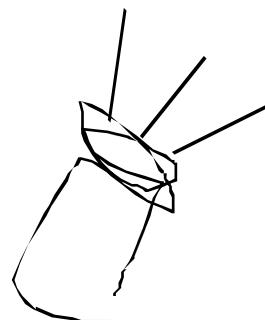
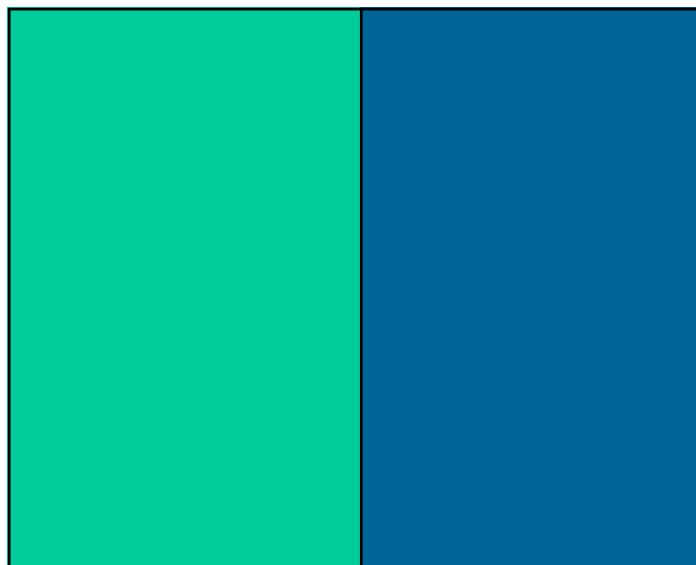
Эксперимент №1



Source: W. Freeman



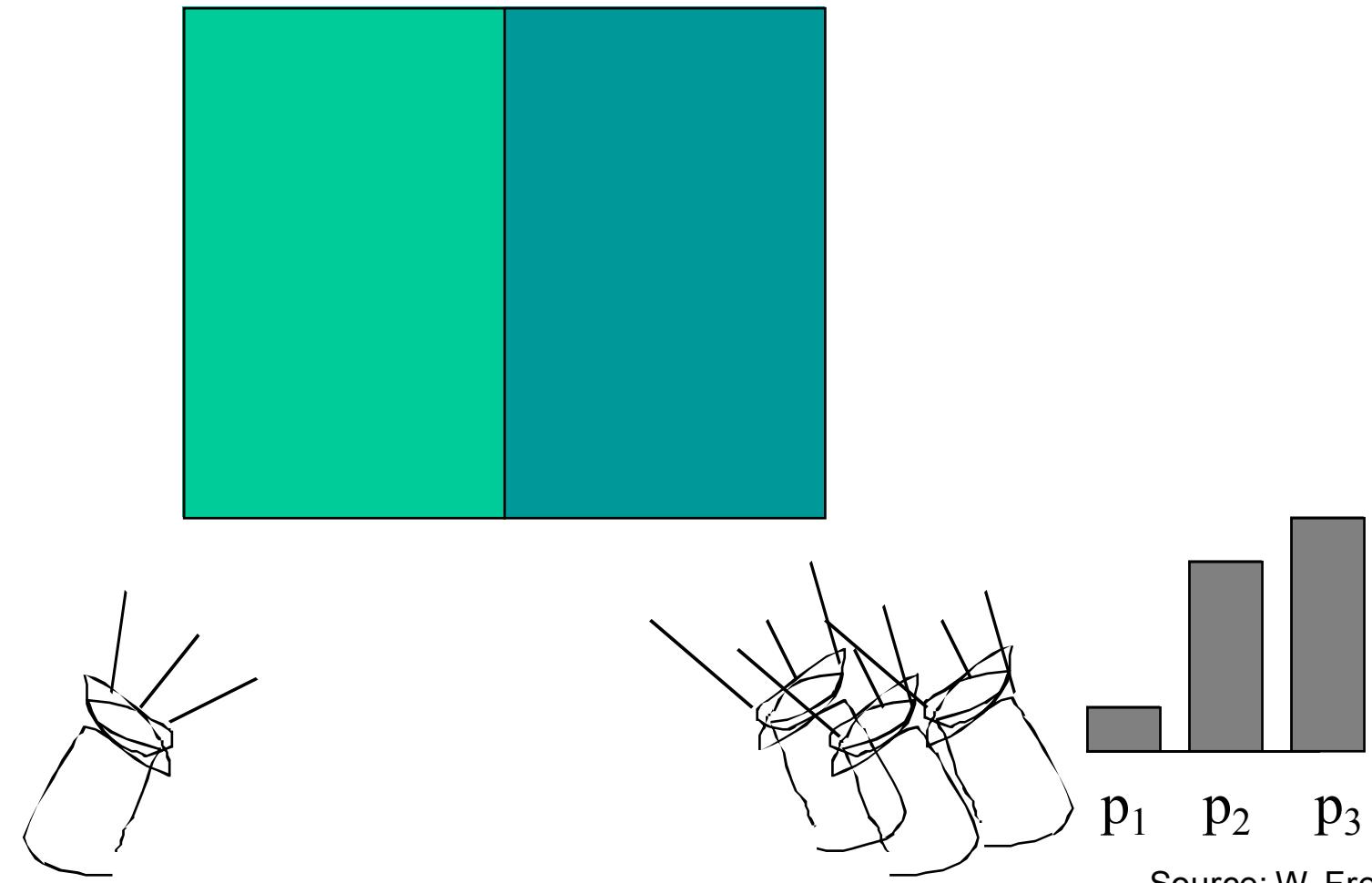
Эксперимент №1



Source: W. Freeman



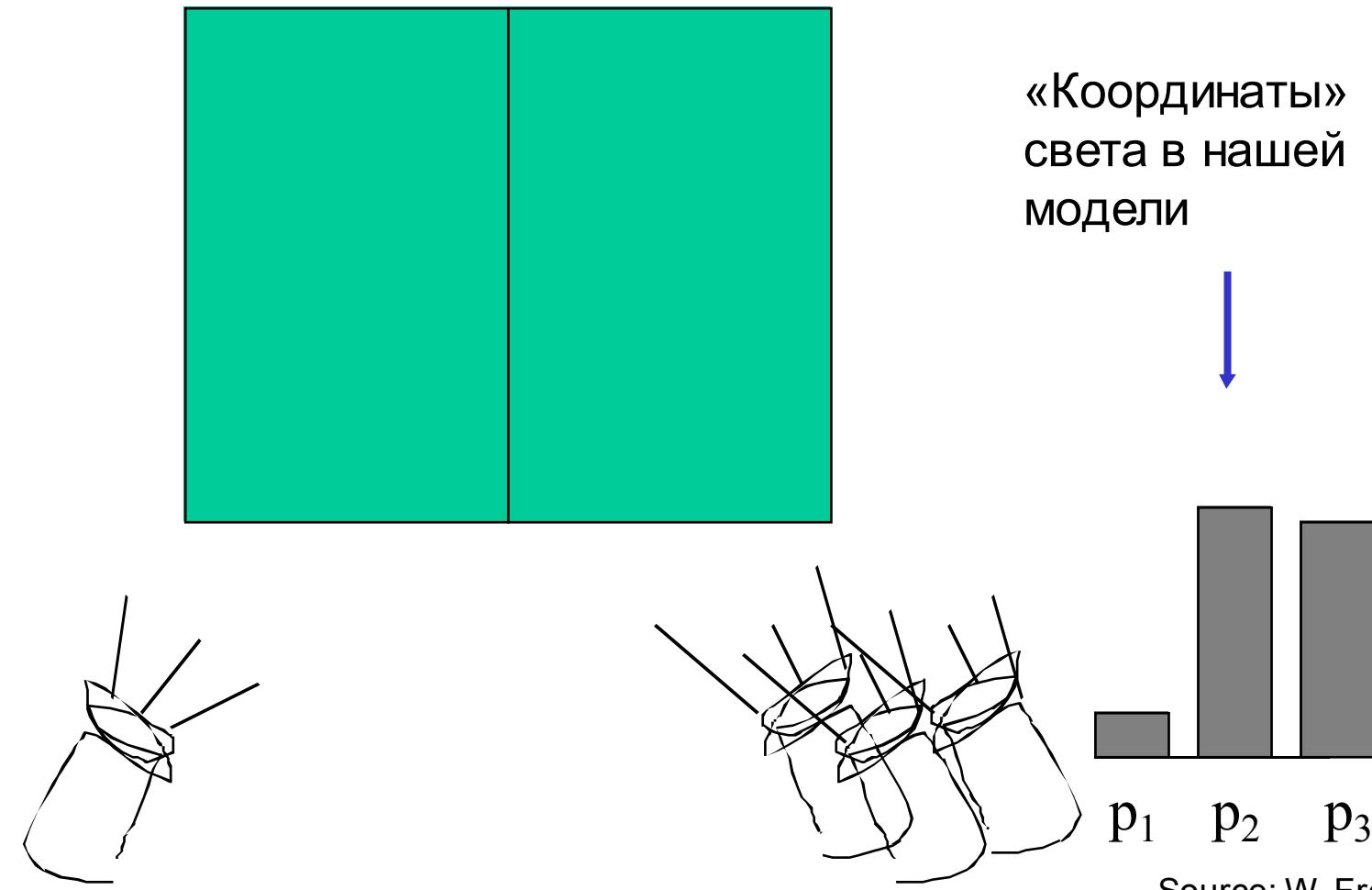
Эксперимент №1



Source: W. Freeman



Эксперимент №1





Закон аддитивности Гассмана (1853)

Эмпирический закон о линейности человеческого зрения.

Верно:

1. Если наблюдатель задаст цвет лучей 1 и 2 как (R_1, G_1, B_1) и (R_2, G_2, B_2) , тогда если мы сложим источники 1 и 2, то мы их можем воспроизвести как $(R_1+R_2, G_1+G_2, B_1+B_2)$
2. Соответствие цветов выполняется на всех уровнях яркости. Т.е. если $C_1 = (R_1, G_1, B_1)$, то $kC_1 = (kR_1, kG_1, kB_1)$

Модели цвета, основанные на выборе базовых цветов и их линейных комбинациях – линейные цветовые модели



Модель CIE RGB 1931

- Выберем три монохроматических цвета в качестве основных на основании информации о чувствительности колбочек

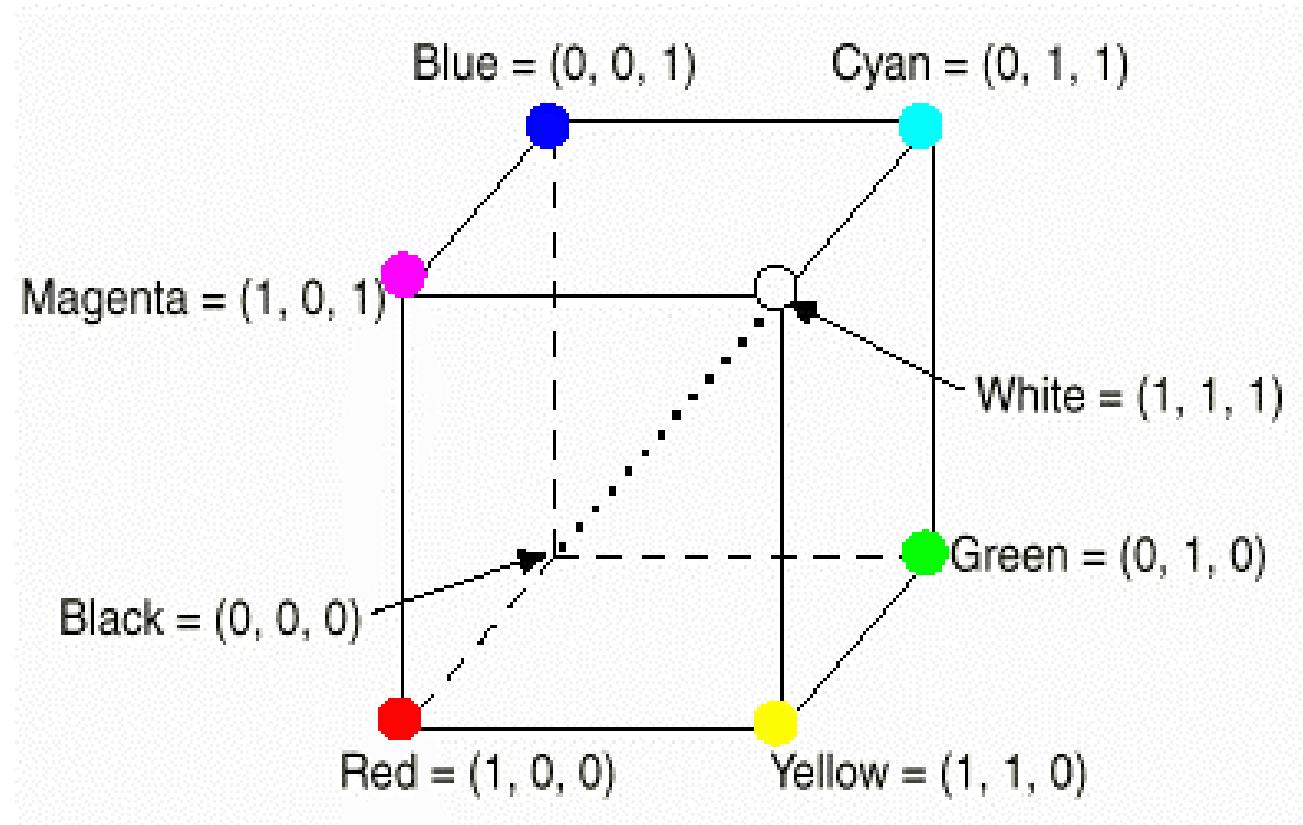
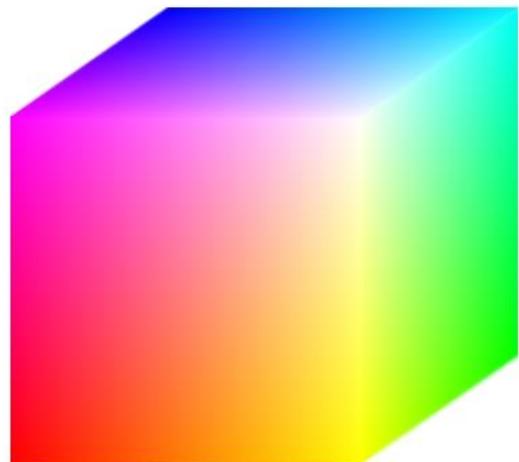
 $p_1 = 645.2 \text{ nm}$

 $p_2 = 525.3 \text{ nm}$

 $p_3 = 444.4 \text{ nm}$



Цветовой куб RGB

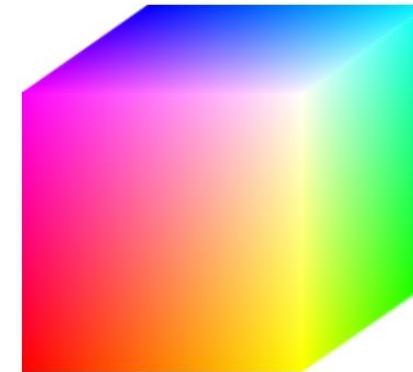


Множество цветов, задаваемых цветовой моделью
RGB



Модель RGB

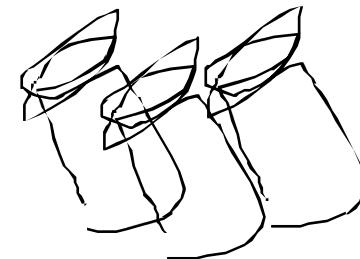
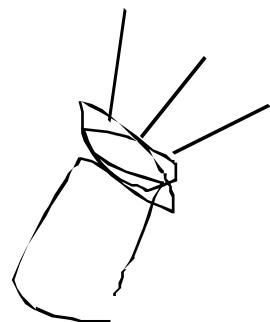
- $p_1 = 645.2 \text{ nm}$
- $p_2 = 525.3 \text{ nm}$
- $p_3 = 444.4 \text{ nm}$



- Описывает ли модель RGB всё множество видимых человеком цветов?
- Для проверки проведём эксперимент и попробуем сопоставить каждой длине волны видимого света (когерентному источнику света) цвет в модели RGB
- *Функции сопоставления* - веса, необходимые для сопоставления с когерентными источниками света
- Будем усреднять результаты участников эксперимента



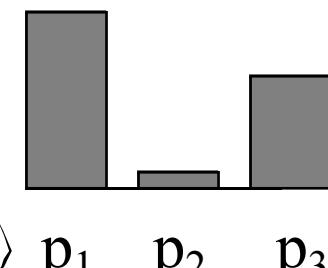
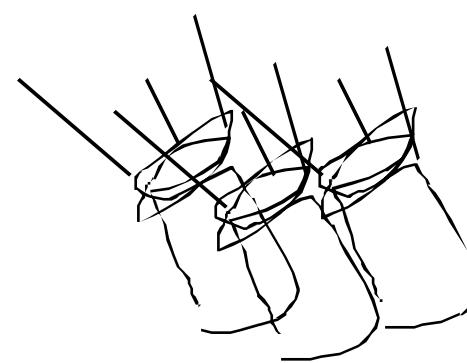
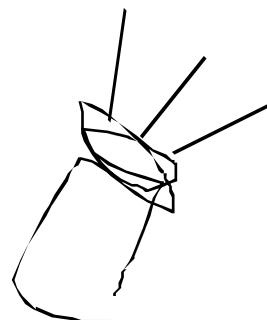
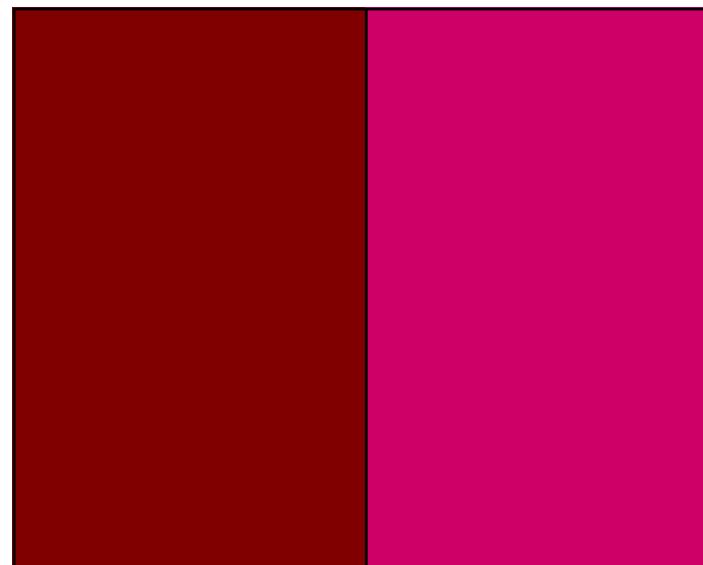
Эксперимент №2



Source: W. Freeman



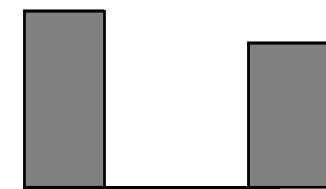
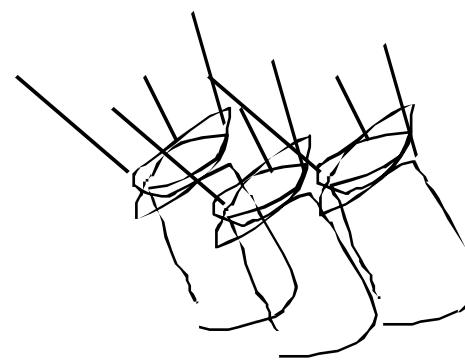
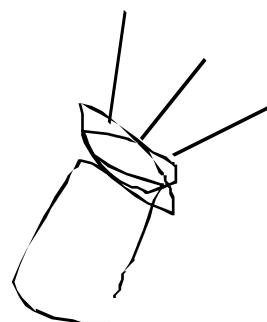
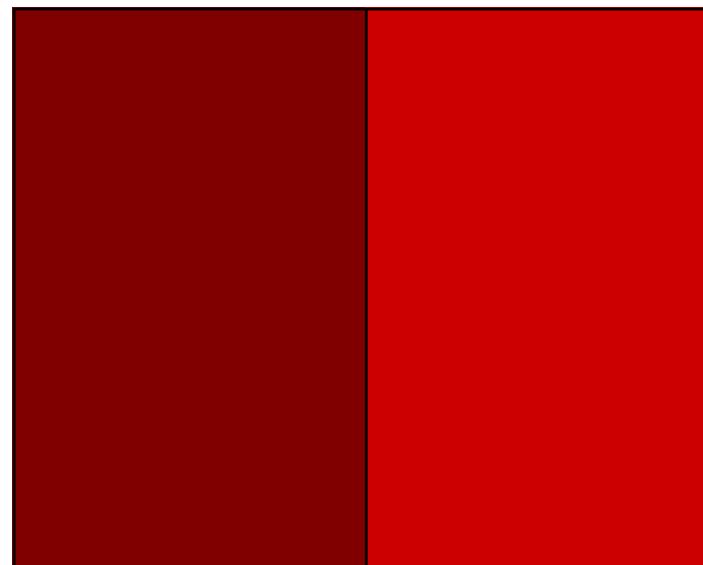
Эксперимент №2



Source: W. Freeman



Эксперимент №2

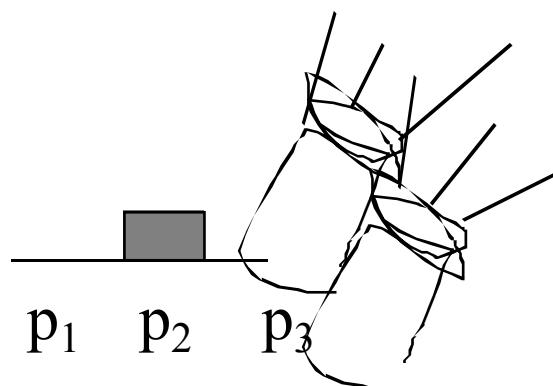
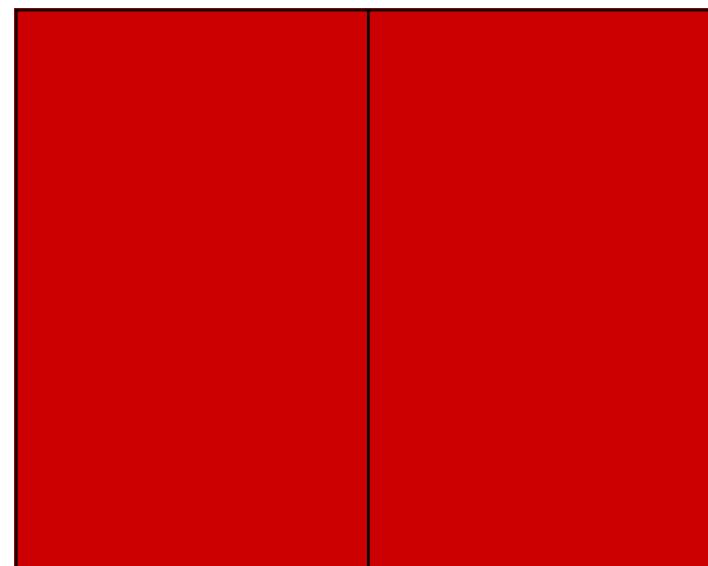


Source: W. Freeman

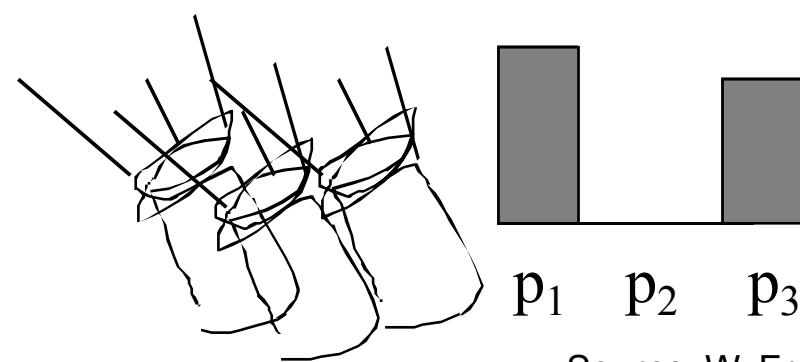
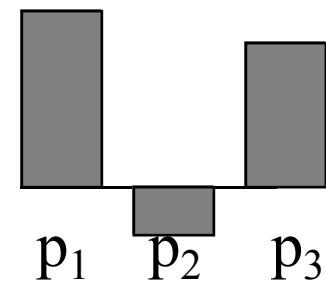


Эксперимент №2

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



Веса основных цветов, необходимых для сопоставления:



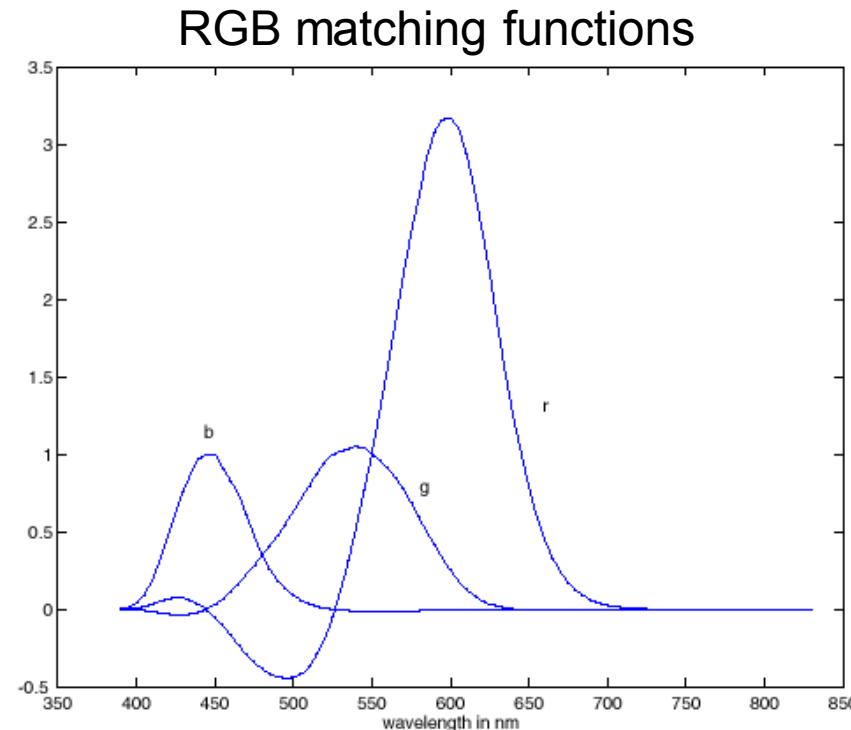
Source: W. Freeman



CIE RGB 1931

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

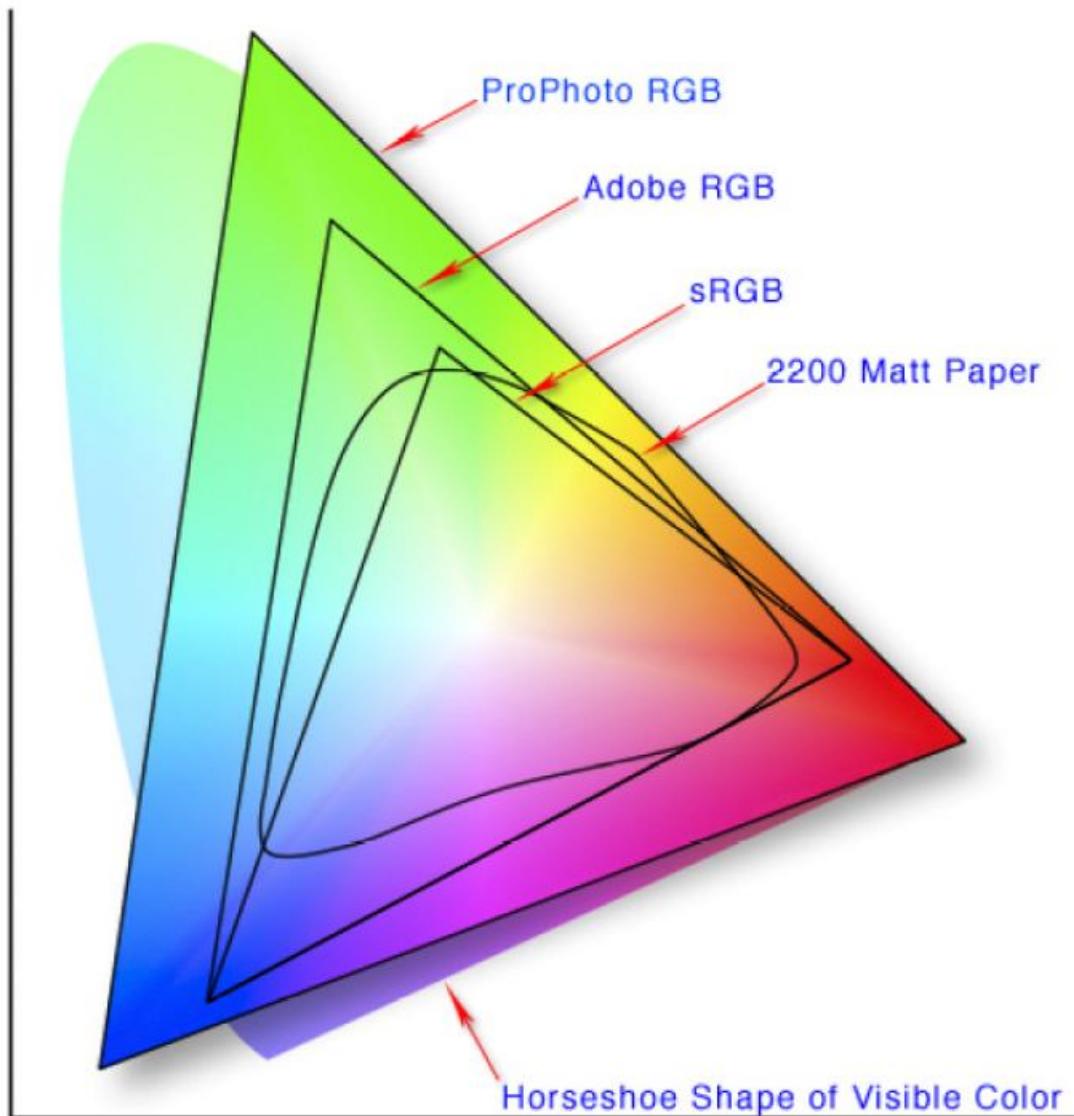
Модель RGB не
полностью описывает
всё множество видимых
цветов



«Вычитание» необходимо
для соответствия некоторым
длинам волны



Различные модели RGB





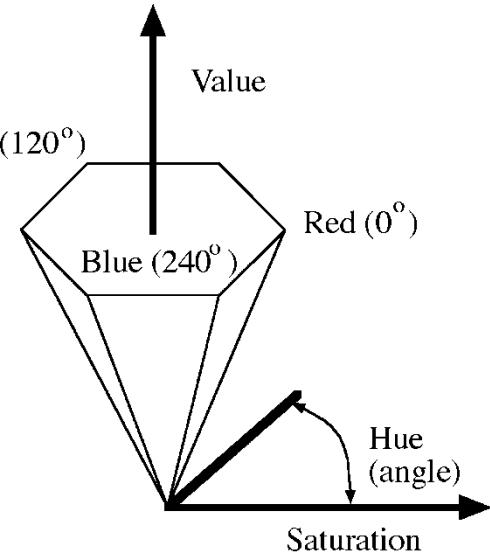
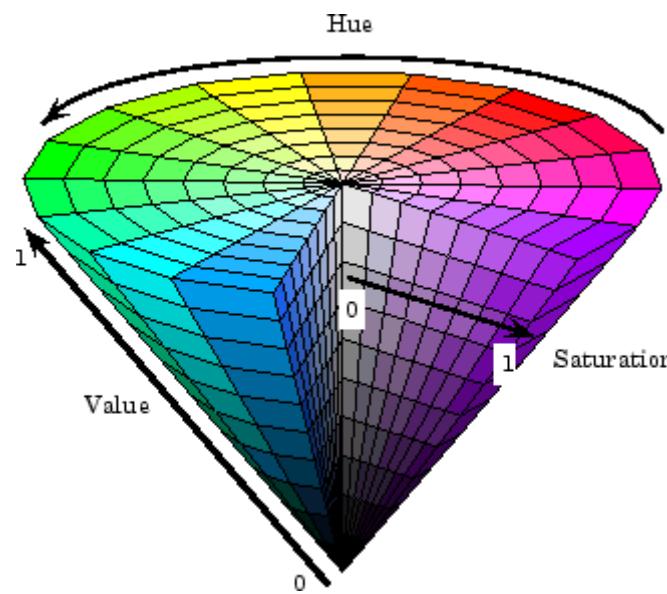
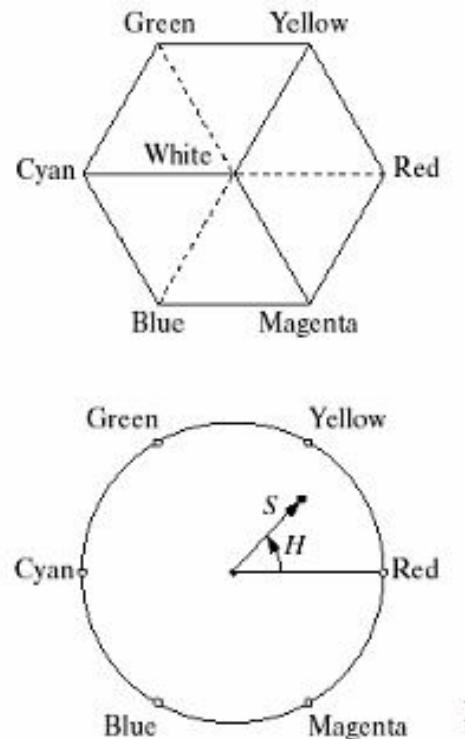
Модель YIQ

В RGB нет отдельной «яркости», что бывает неудобно

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



Модель HSV (HIS)



В отличие от YIQ, координаты выбраны с учетом человеческого восприятия: Hue (Тон), Saturation(Насыщенность), Value (Intensity) (Интенсивность)

Является ли эта модель линейной?



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;

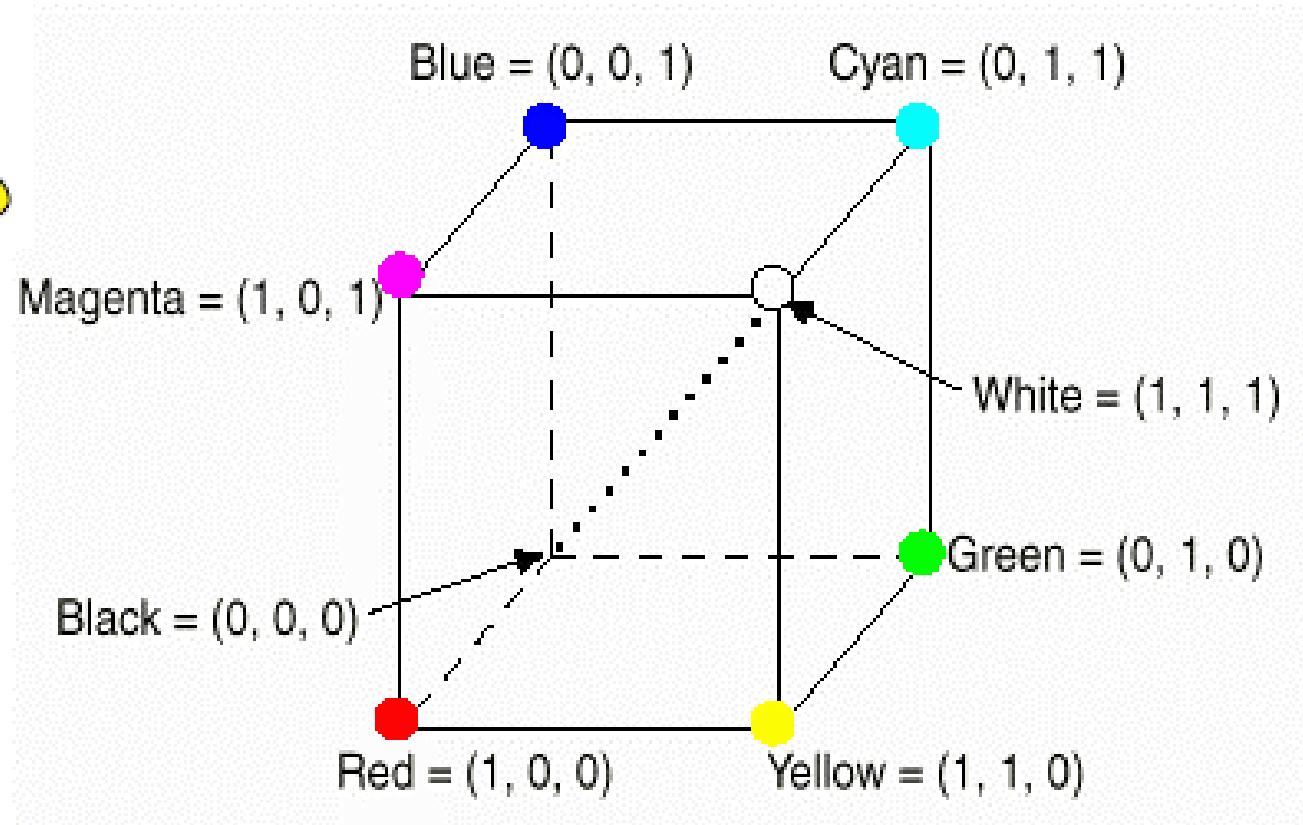
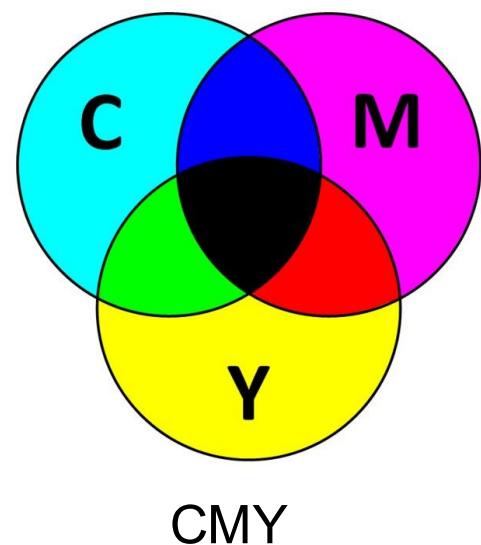
R,G,B,H,S,I are all floating point numbers;

```
procedure RGB_to_HSI( in R,G,B; out H,S,I)
{
    I := max ( R, G, B );
    min := min ( R, G, B );
    if (I  $\geq$  0.0) then S := (I - min )/I else S := 0.0;
    if (S  $\leq$  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  $\leq$  0.0) H := H +  $2\pi$ ;
}
```

Algorithm 15: Conversion of RGB to HSI.



Субтрактивная модель CMYK



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

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

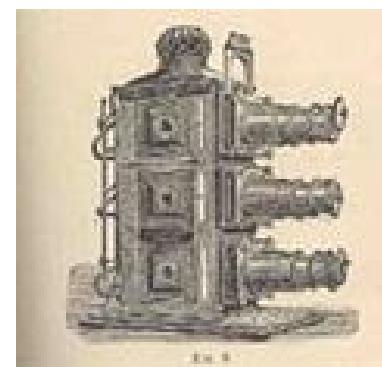
$$Y = R + G = W - B$$

- Аддитивная система – RGB
- Субтрактивная система – CMY
- CMYK для повышения качества



Первые цветные фотографии

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



Ламповый
проектор



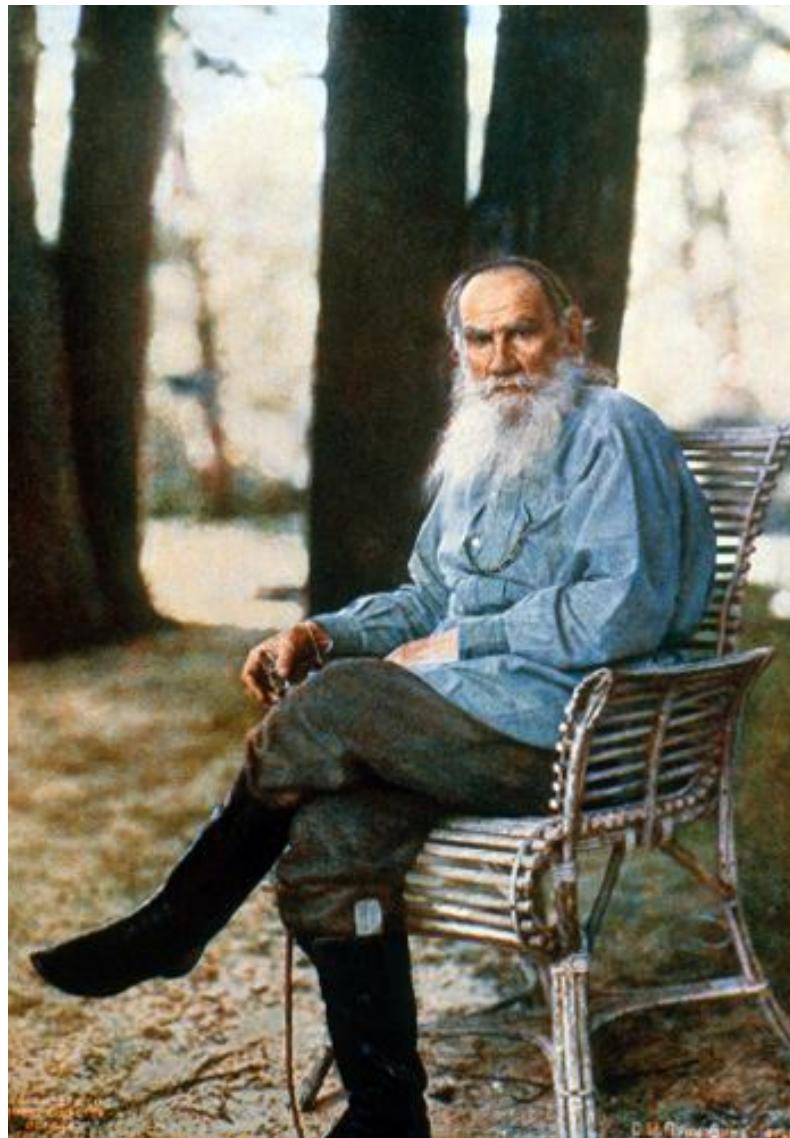
http://en.wikipedia.org/wiki/Sergei_Mikhailovich_Prokudin-Gorskii

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

Slide by A.Efros



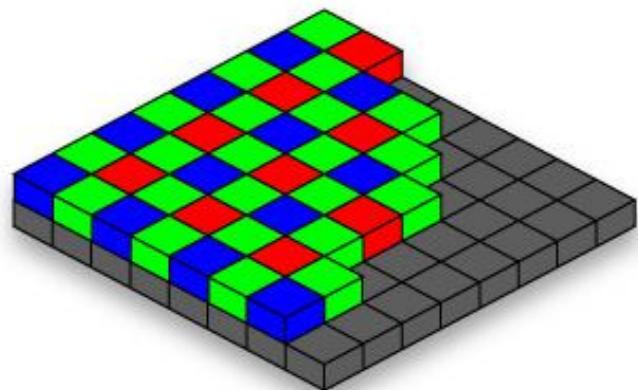
Лев Толстой



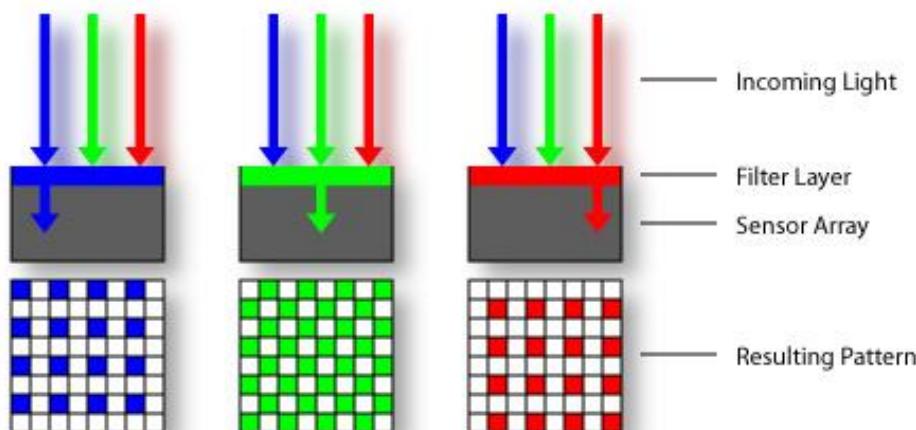
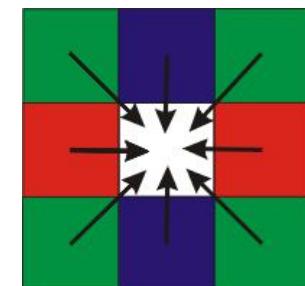


Цветное цифровое изображение

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



Резюме

- Понятие о компьютерном зрении
- История компьютерного зрения
- Устройство глаза и фотокамеры
- Трихроматическая теория цвета
- Цветовые модели RGB, XYZ, CMYK, YIQ, HSV