



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

Спецкурс «Введение в компьютерное зрение  
и глубинное обучение»

Лекция №1

# «Введение в предмет. Цифровое изображение. Свет и цвет»

Антон Конушин

Заведующий лабораторией компьютерной графики и мультимедиа  
ВМК МГУ

18 февраля 2019 года

# Лектор

---



Антон  
Конущин

- Доцент, к.ф.-м.н., зав. лаборатории компьютерной графики и мультимедиа, каф. ИИТ, ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова
- Руководитель Visual Understanding Lab в Samsung AI Center Moscow
- 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: [anton.konushin@graphics.cs.msu.ru](mailto:anton.konushin@graphics.cs.msu.ru)

# Ассистент

---



Влад  
Шахуро

- Ведущий программист лаборатории компьютерной графики и мультимедиа
- Аспирант НИУ ВШЭ
- Ассистент в Школе анализа данных Яндекса
- Научная работа – генерация синтетических данных для обучения алгоритмов компьютерного зрения, в первую очередь с помощью нейросетевых моделей

E-mail: [vlad.shakhuro@graphics.cs.msu.ru](mailto:vlad.shakhuro@graphics.cs.msu.ru)

# Организационные моменты

---

- 8 лекций
- 5 практических заданий
- Сайт курса - <http://cv-gml.ru/>
- Все материалы выкладываются на сайте
- Задания сдаются через сайт курса
- Проверка заданий полностью автоматическая

# План курса

---

- Введение в предмет. Цифровое изображение. Свет и цвет.
  - Тьюториал по питону (Прокудин-Горский)
- Основы обработки изображений.
  - Задание на Image retargeting (Умный ресайз)
- Основы машинного обучения
  - Задание на распознавание дорожных знаков
- Классификация изображений и выделение объектов
- Введение в свёрточные нейросети
  - Задание на нейросети. Регрессия ключевых точек на лице. (+дропаут, размножение данных)
- Современные свёрточные нейросети
- Выделение объектов с помощью нейросетей
- Обработка и синтез изображений с помощью нейросетей

# 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 2 программы по обработке изображений
- Получить оценку за матспецкурс
- Результаты курса играют большую роль при собеседовании в лабораторию компьютерной графики на семинар «Компьютерное зрение»

# 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.

# Что и где находится на изображении?

**Выделение объектов**

**Здание**

**Текст**

**Лицо**

**Текст**

中华人民共和国万岁

世界人民大团结万岁

**Человек**

**Человек**

**Лицо**

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

# Свойства объектов и атрибуты

- outdoor
- city
- Beijing, China
- Tiananmen Square

Image classification & retrieval

Sky is blue

Wind is slow

Male, Mao Zedong

Profile, Female,  
Unknown

Frontal, Male,  
Unknown





# Какой формы?

Стерео-зрение



Измерения  
расстояний по  
снимкам



3D моделирование по  
снимкам



Измерение расстояний и формы объектов

# Почему зрение – это сложно?

---

Попробуйте придумать причины,  
затрудняющие анализ изображений!

# Точка наблюдения (ракурс)

---



Michelangelo 1475-1564



# Освещение

---



image credit: J. Koenderink

# Размер

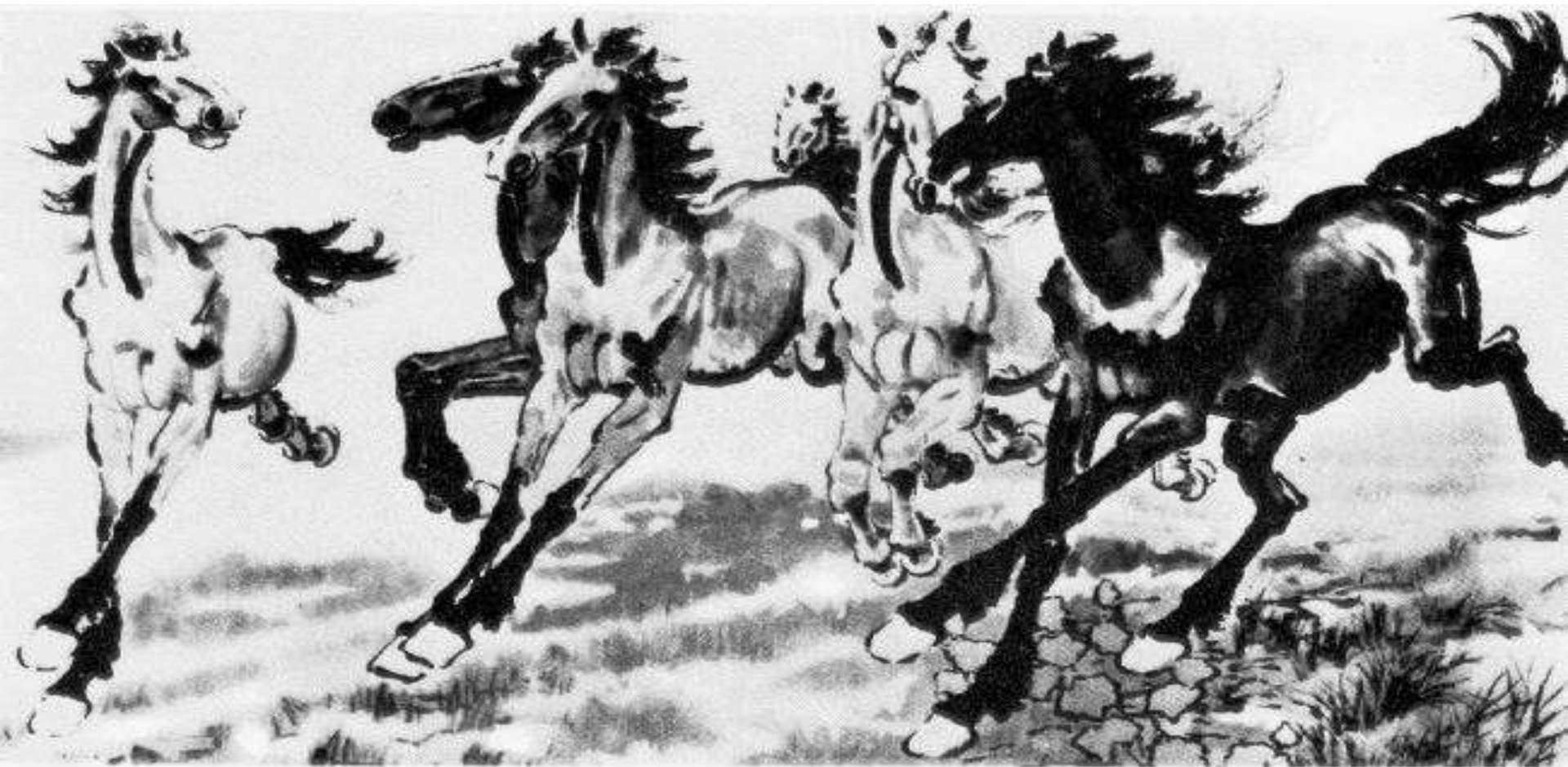
---





# Деформация

---

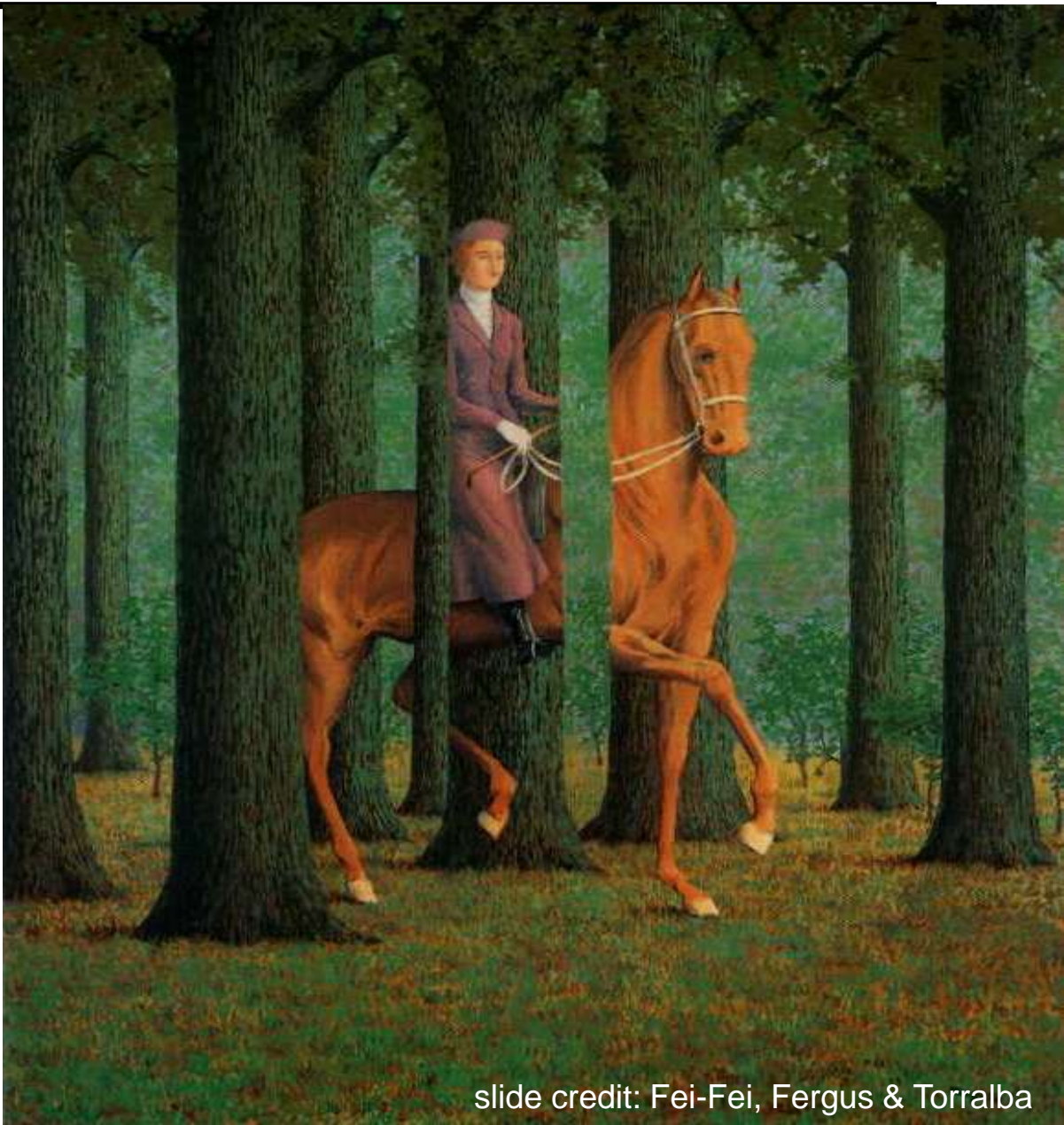


Xu, Beihong 1943

# Перекрытие

---

Magritte, 1957



slide credit: Fei-Fei, Fergus & Torralba



# Маскировка



Emperor shrimp and commensal crab on a sea cucumber in Fiji  
Photograph by Tim Laman

# Движение

---





# Внутриклассовая изменчивость

---



# Несколько интерпретаций

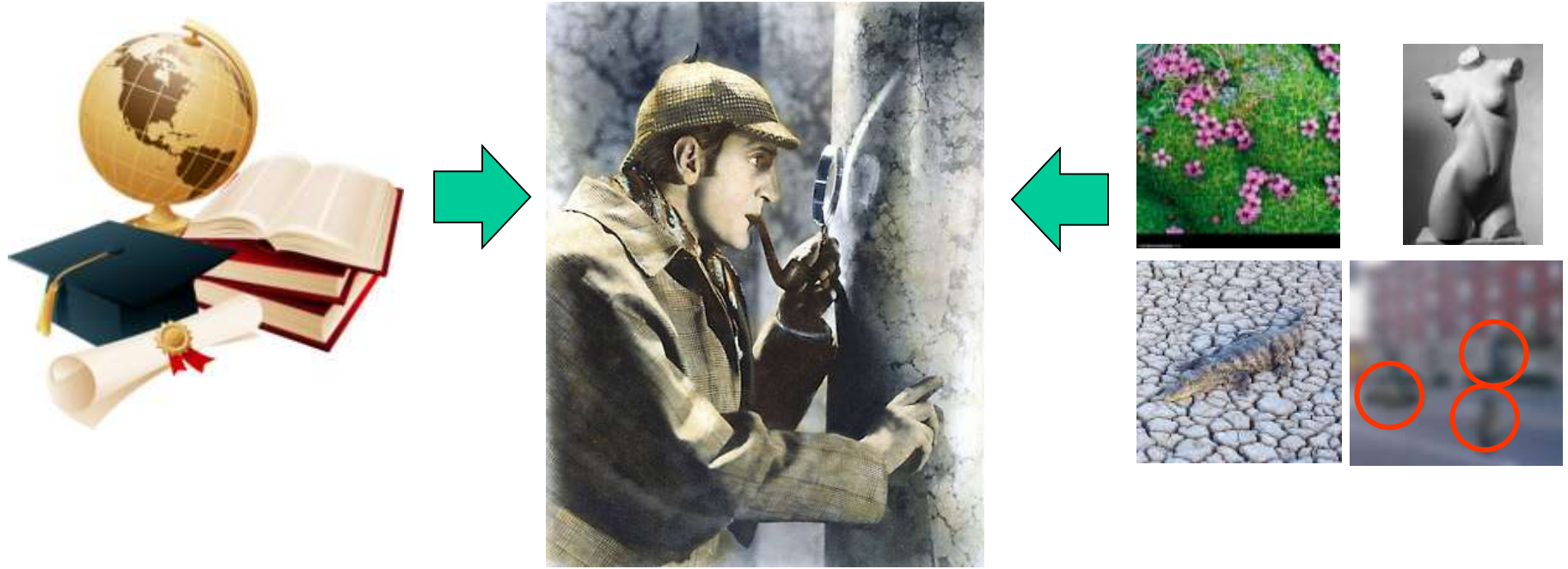
---



Одно 2D изображение допускает разные 3D интерпретации

# Зрение человека

---



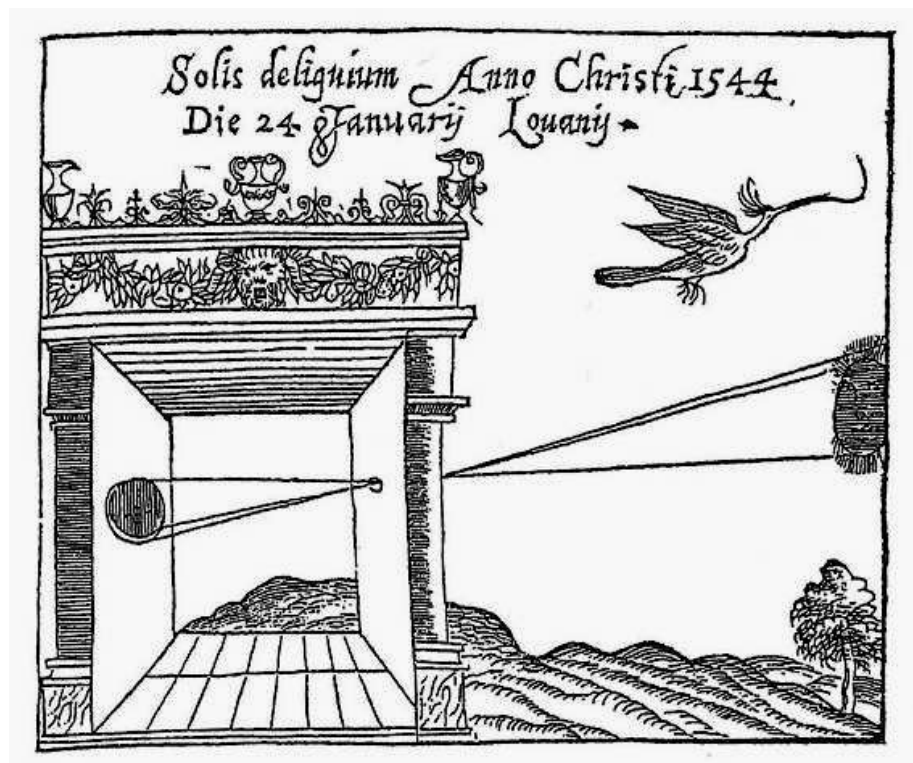
- Мы сопоставляем наблюдения (подсказки) и априорные знания для интерпретации изображения
- По оценкам, 25% мозга занято решением задачи зрения
- Какие подсказки и априорные знания вы можете придумать/вспомнить?

# История компьютерного зрения



# Камера-обскура

---



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

# Живопись Ренессанса

---



*Яна Ван Эйк «Портрет Четы Арнольфини» 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)

---



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

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.



# Первая фотография (1825)

---



Самая первая фотография  
1825 год



Figure 5. J. N. Niepce.

Требовала 8 часов проявки

# Фотограмметрия (1840)

---



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

# Первое цифровое фото (1957)

---



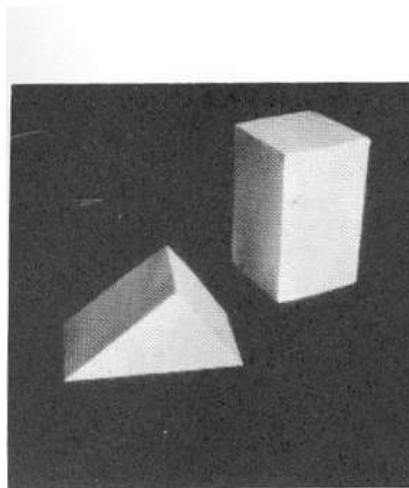
Разрешение  
176\*176 пикселей

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

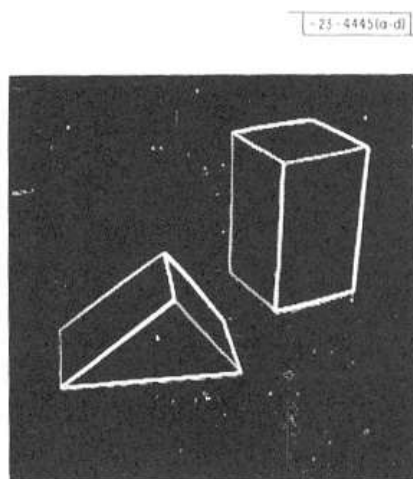


# Зарождение компьютерного зрения (1960)

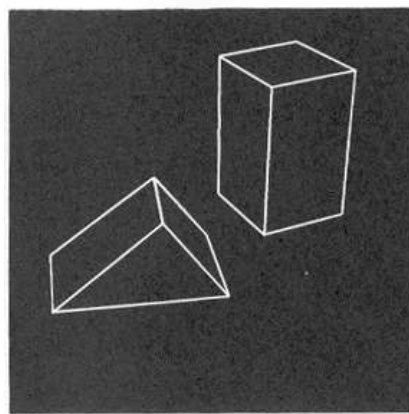
---



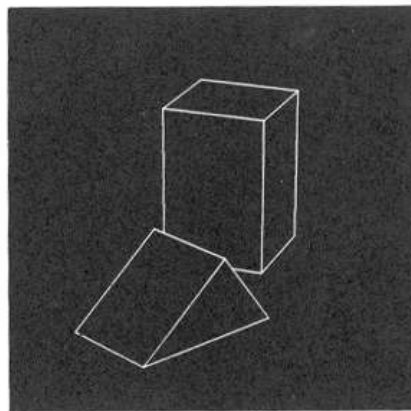
(a) Original picture.



(b) Differentiated picture.



(c) Line drawing.

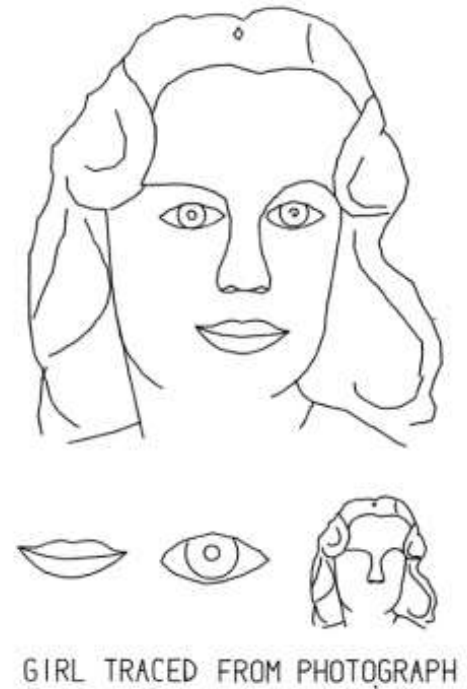


(d) Rotated view.

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

# SketchPad (1963)

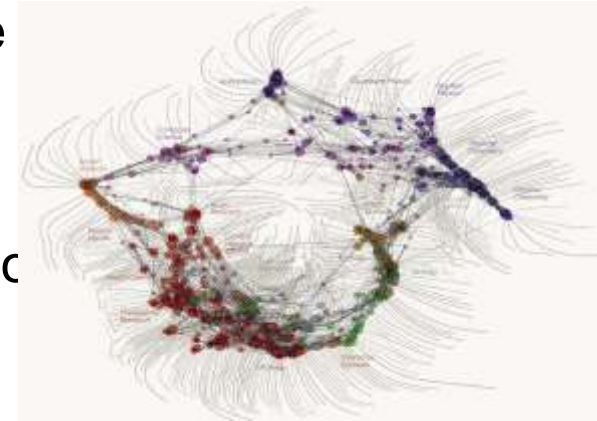
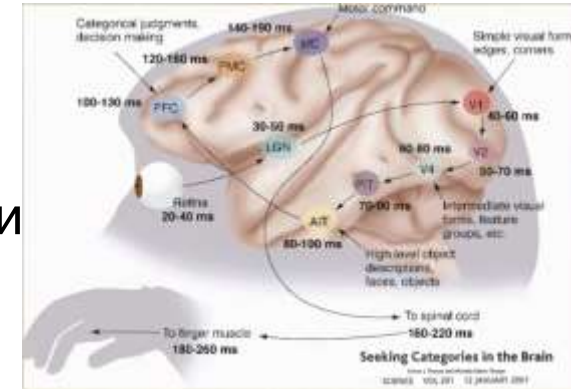
---



Ivan Sutherland демонстрирует интерактивный графический редактор SketchPad

# Давид Мэпп (1970е)

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



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

# Детектор лиц Viola-Jones (2001)

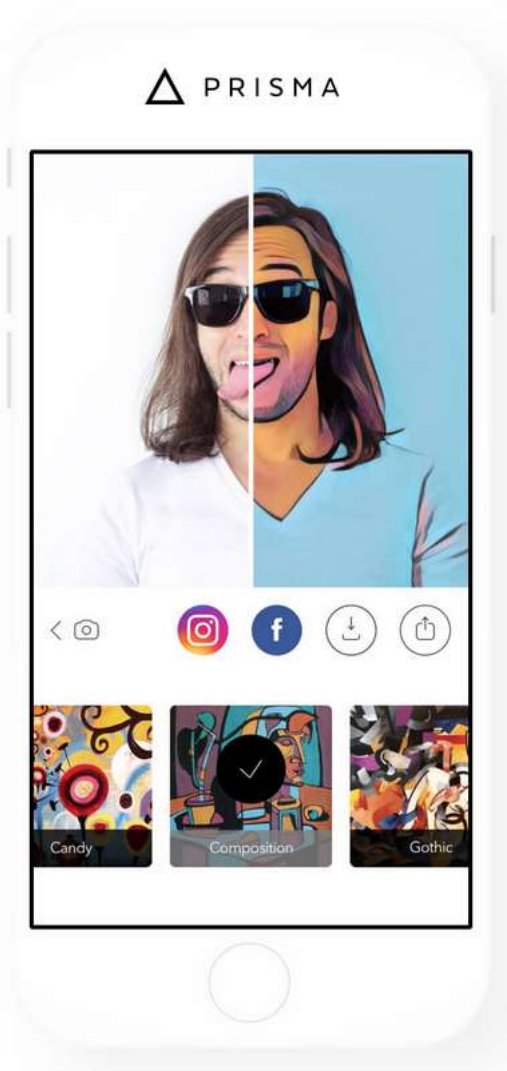
---



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

# Глубокое обучение (2012)

---



# Цифровое изображение

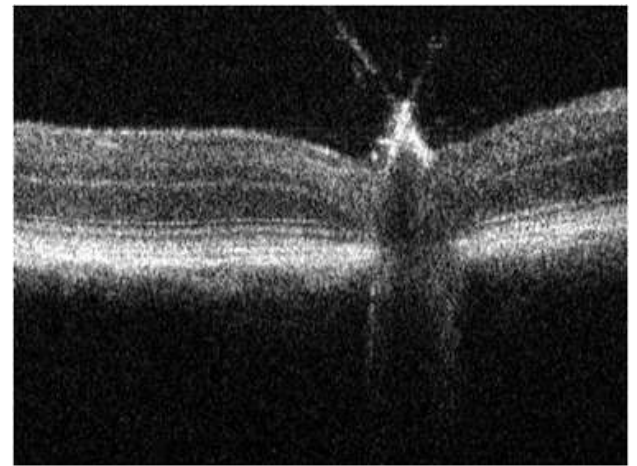


# Изображение

---

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

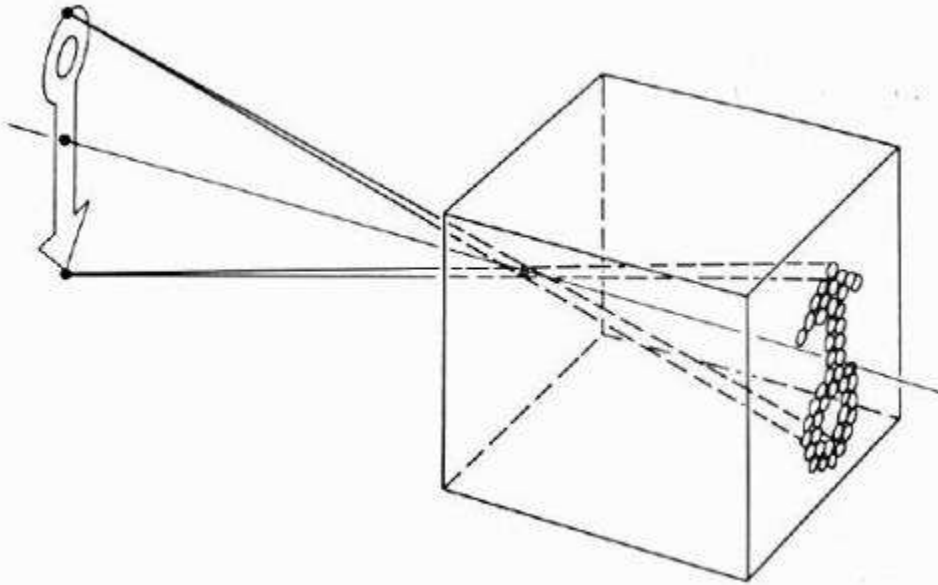
*(Физический энциклопедический словарь.)*



Оптические системы могут быть очень разными!

# Камера-обскура

---



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

Математическая модель – перспективная проекция:

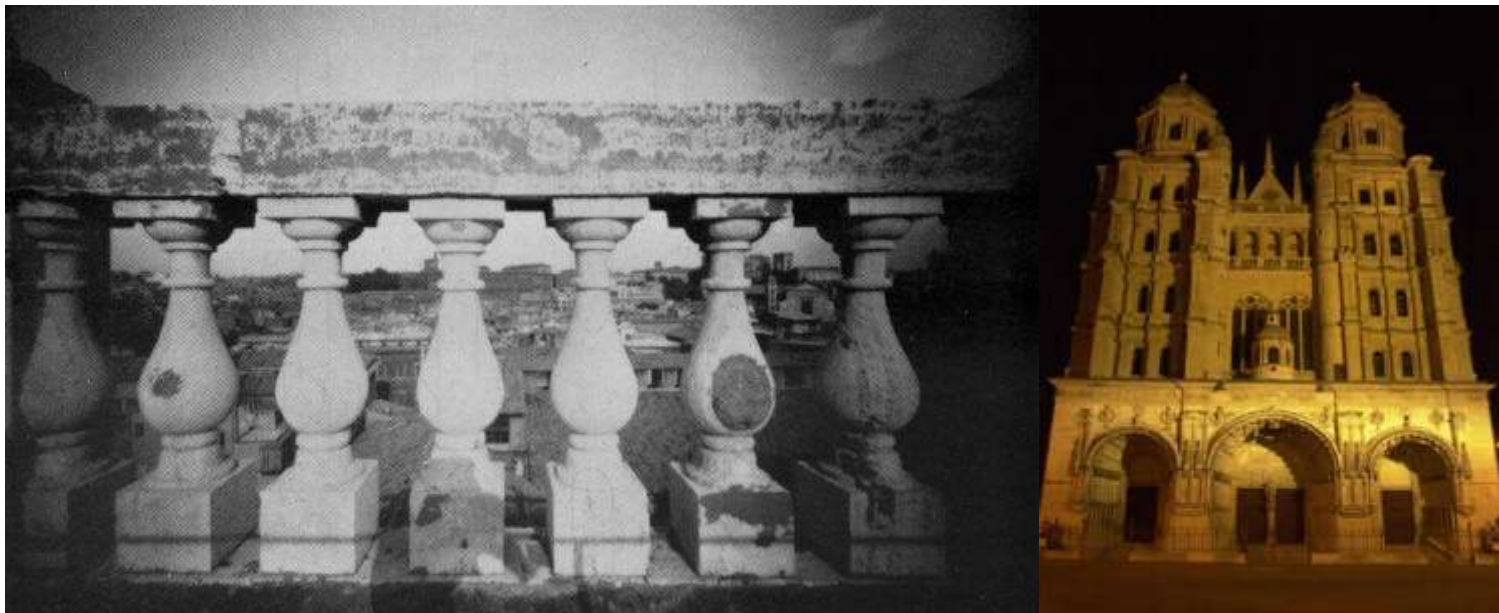
- Пучок лучей проходит через одну точку (точечное отверстие)
  - Эта точка называется «центр проекции» (фокальная точка / **focal point**)
- Изображение формируется на картинной плоскости (**image plane**)



# Перспективные искажения

---

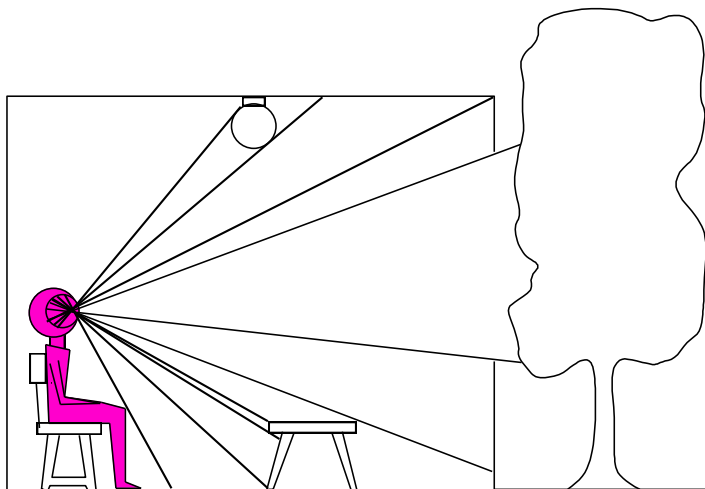
- Перспективная проекция приводит к искажениям свойств объектов (примеры?)
  - Сходящиеся вертикальные линии
  - Крайние колонны кажутся толще
- Эти искажения вызваны не погрешностью оптической системы!



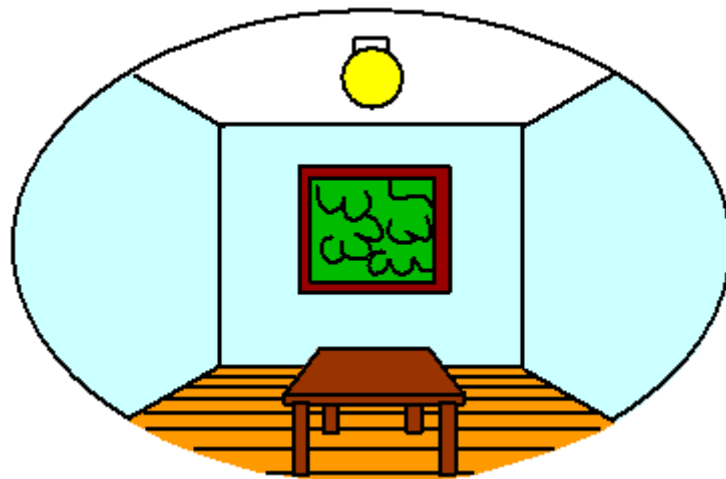
# Машина Понижения Размерности

---

*3D мир*



*2D картина*



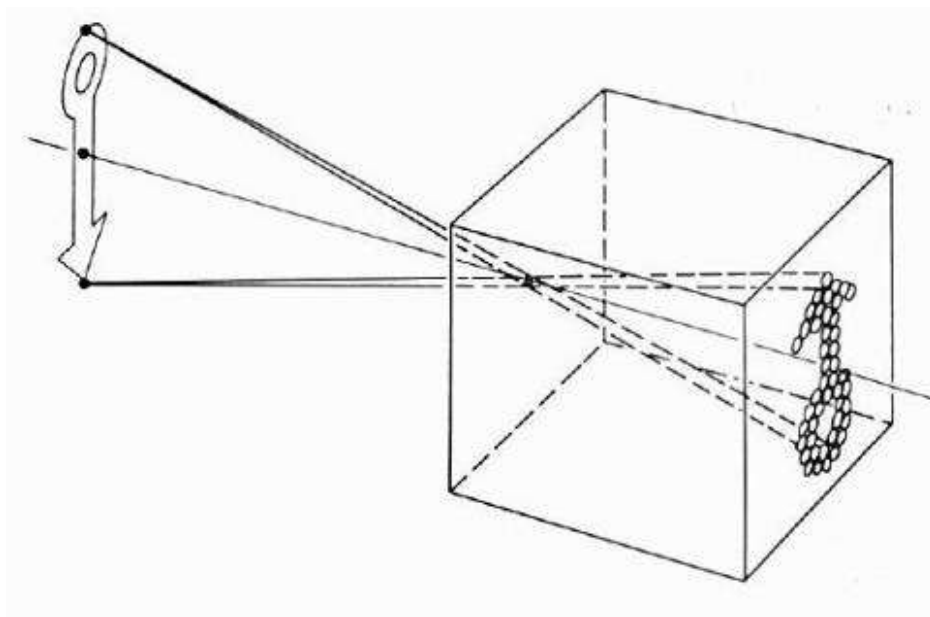
Что мы теряем?

- Углы
- Расстояния и длины

Подробнее геометрическая  
модель рассматривается  
позже

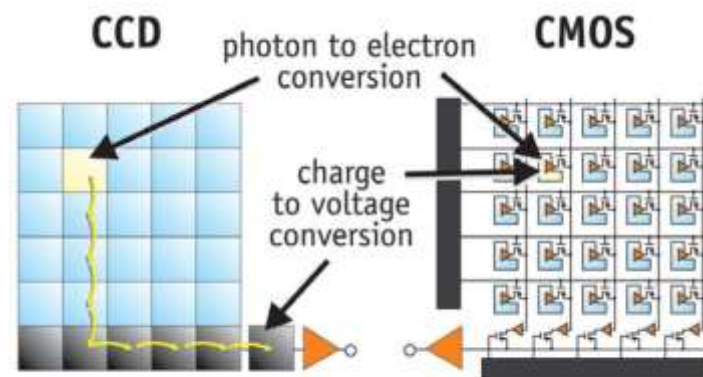
# Современная камера

---

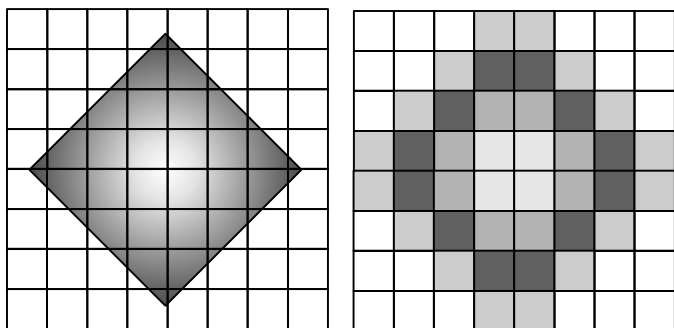


Тот же самый принцип, но с объективом и цифровой матрицей

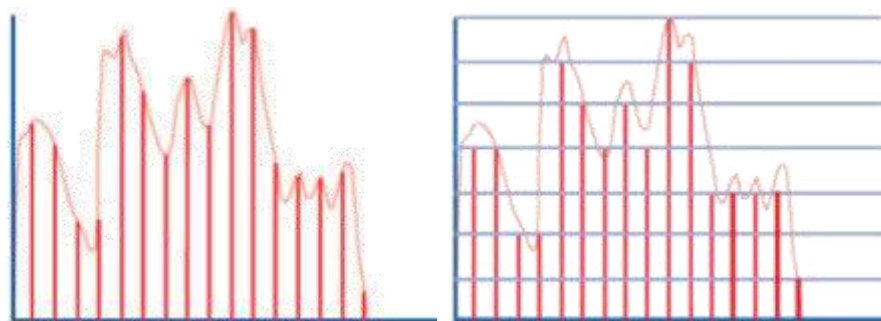
# Цифровая камера - дискретизация



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.



По пространству



По яркости

# Цифровое изображение

---

- Цифровое полутоновое изображение – матрица  $I \in (b_{ij})^{n,m}$ , элементами которой  $b_{ij}$  являются значения яркости света, измеренного на 2х 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*)

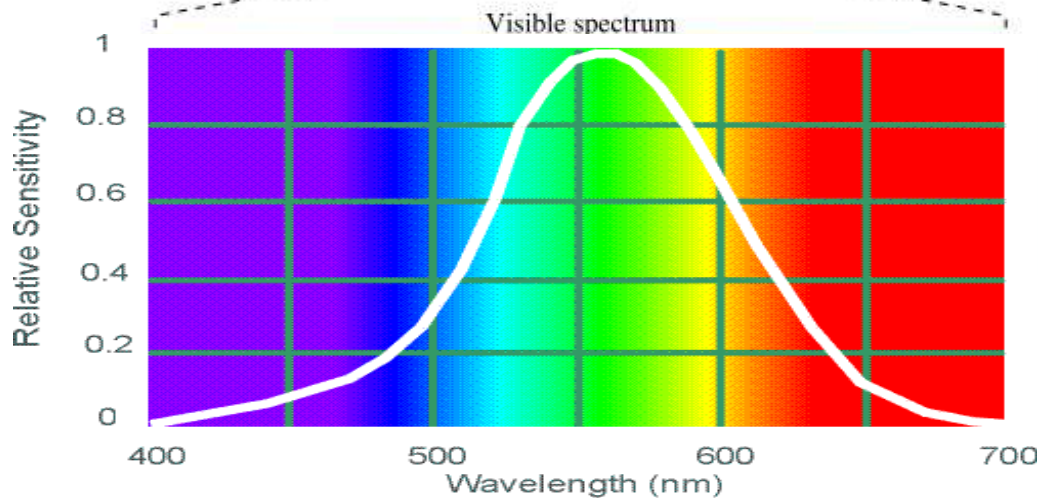
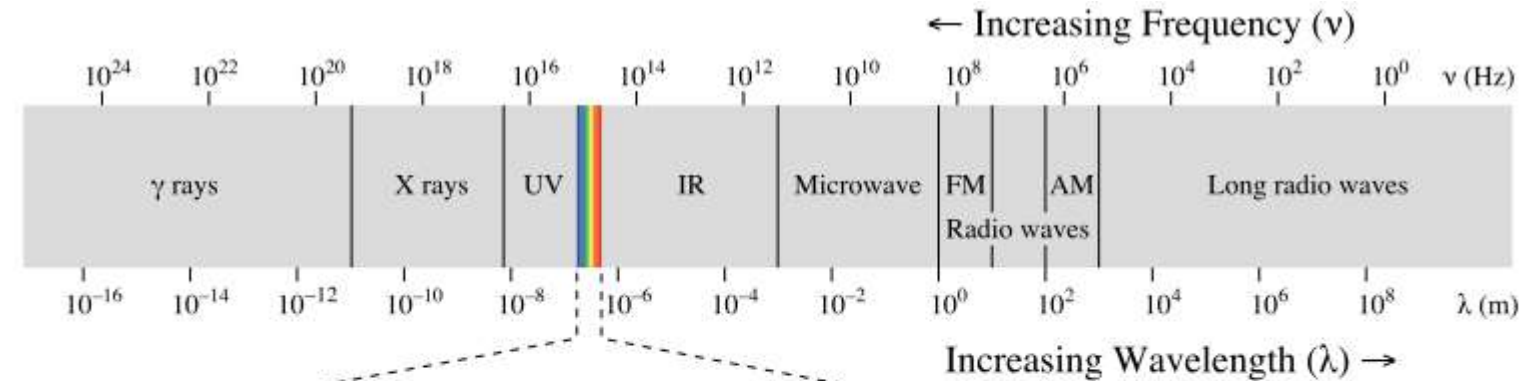
Цвет – это результат взаимодействия света, сцены и нашей зрительной системы



Восприятие света человеком изучают науки фотометрия и колориметрия

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

# Видимый свет



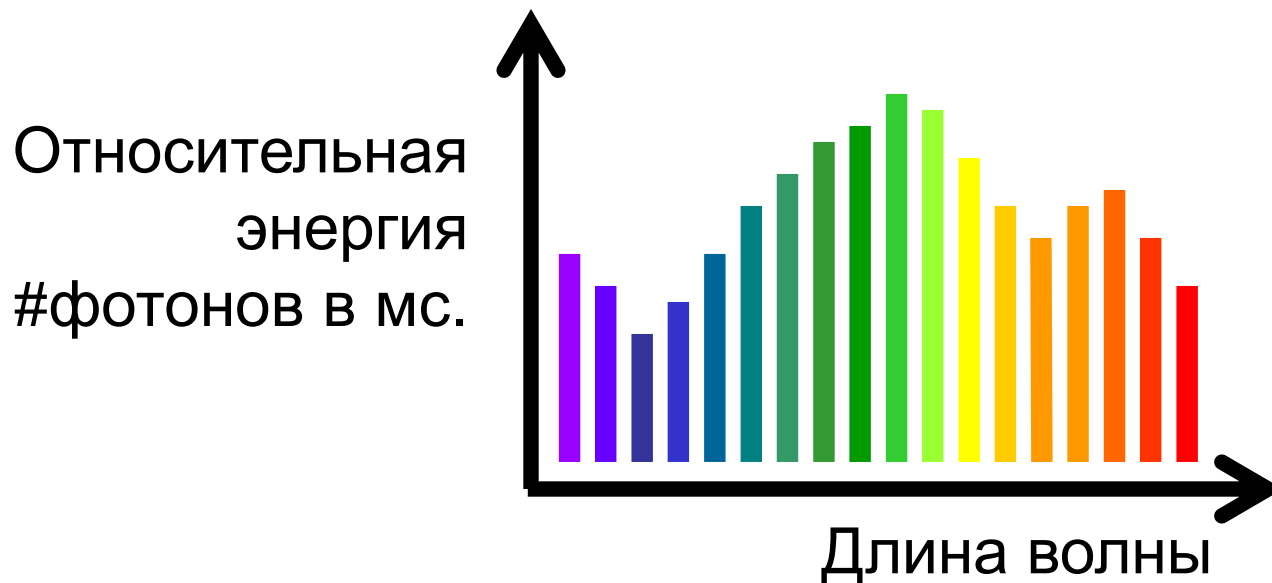
Функция  
чувствительности глаза  
человека к  
освещённости

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

# Физика света

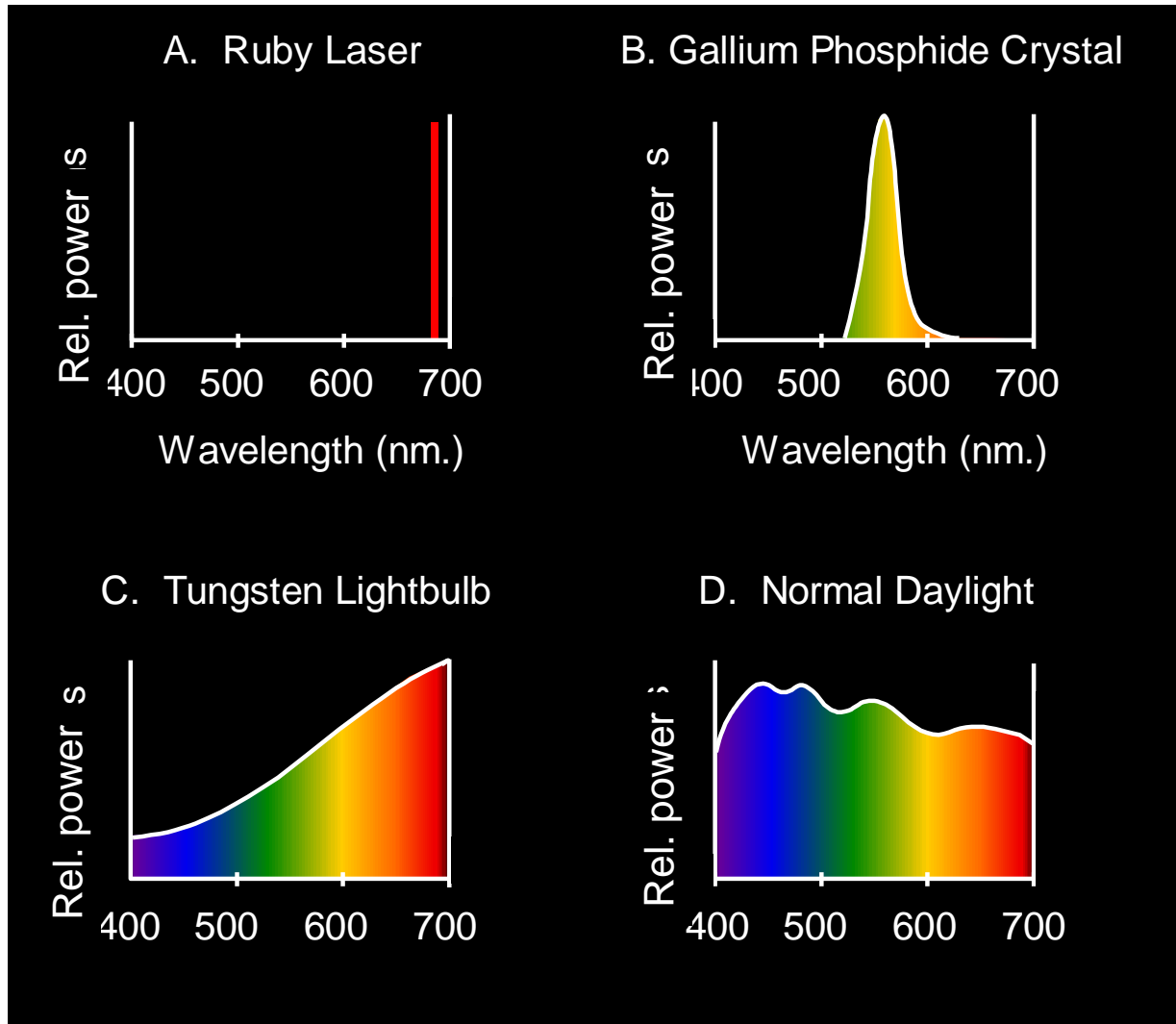
---

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



# Физика света

## Примеры спектров разных источников света

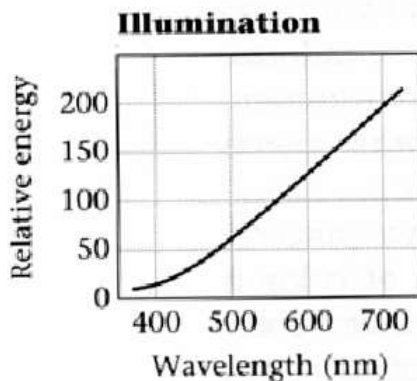




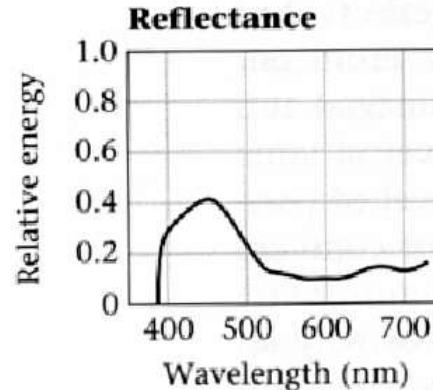
# Взаимодействие света и объектов



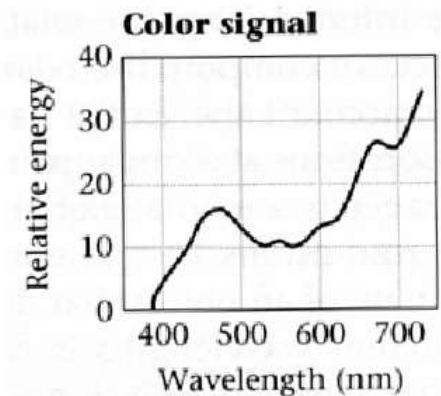
Отраженный свет это  
результат взаимодействия  
излучаемого света и  
поверхности



• \*



=

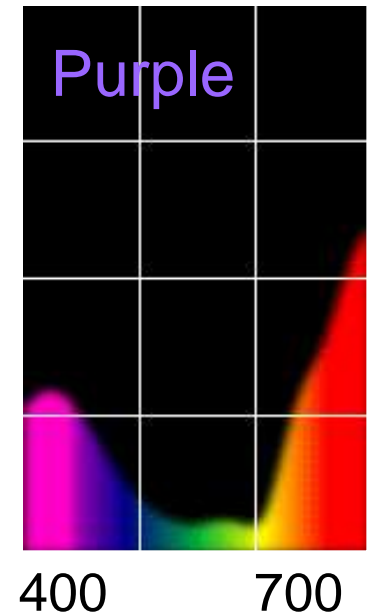
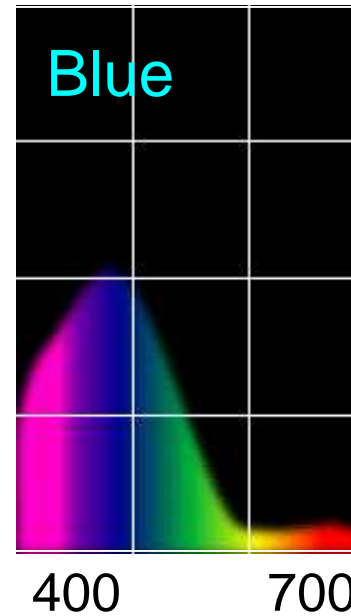
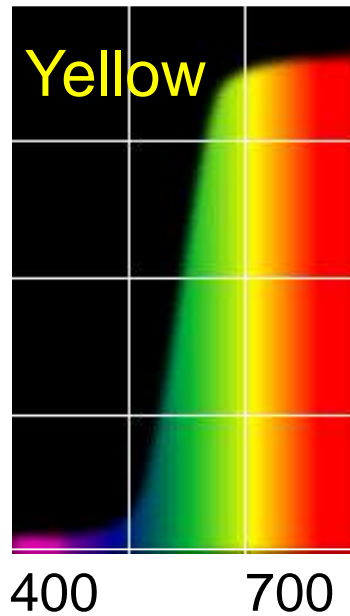
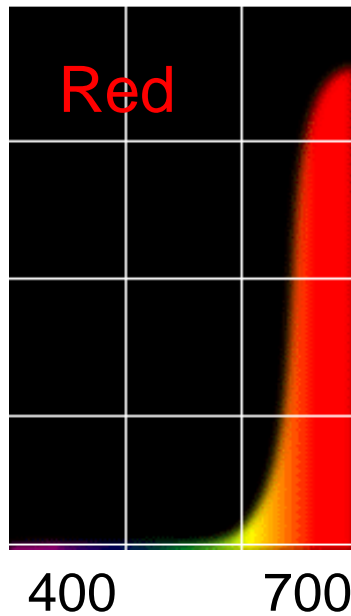


# Физика света

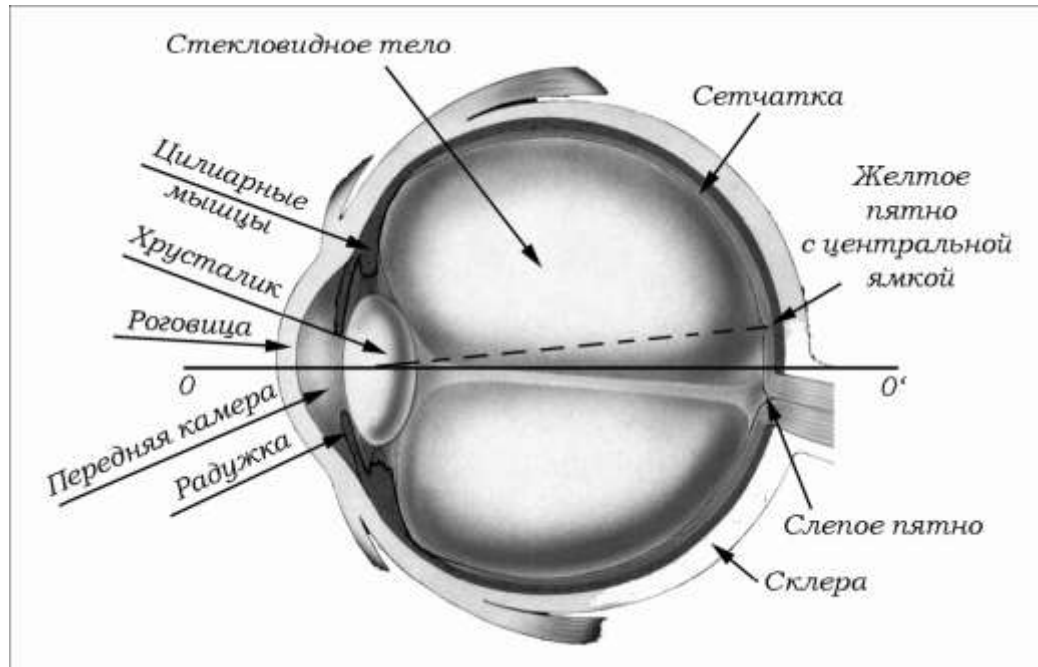
## Примеры спектров отраженного света от предметов



% Отраженного света



# Человеческий глаз



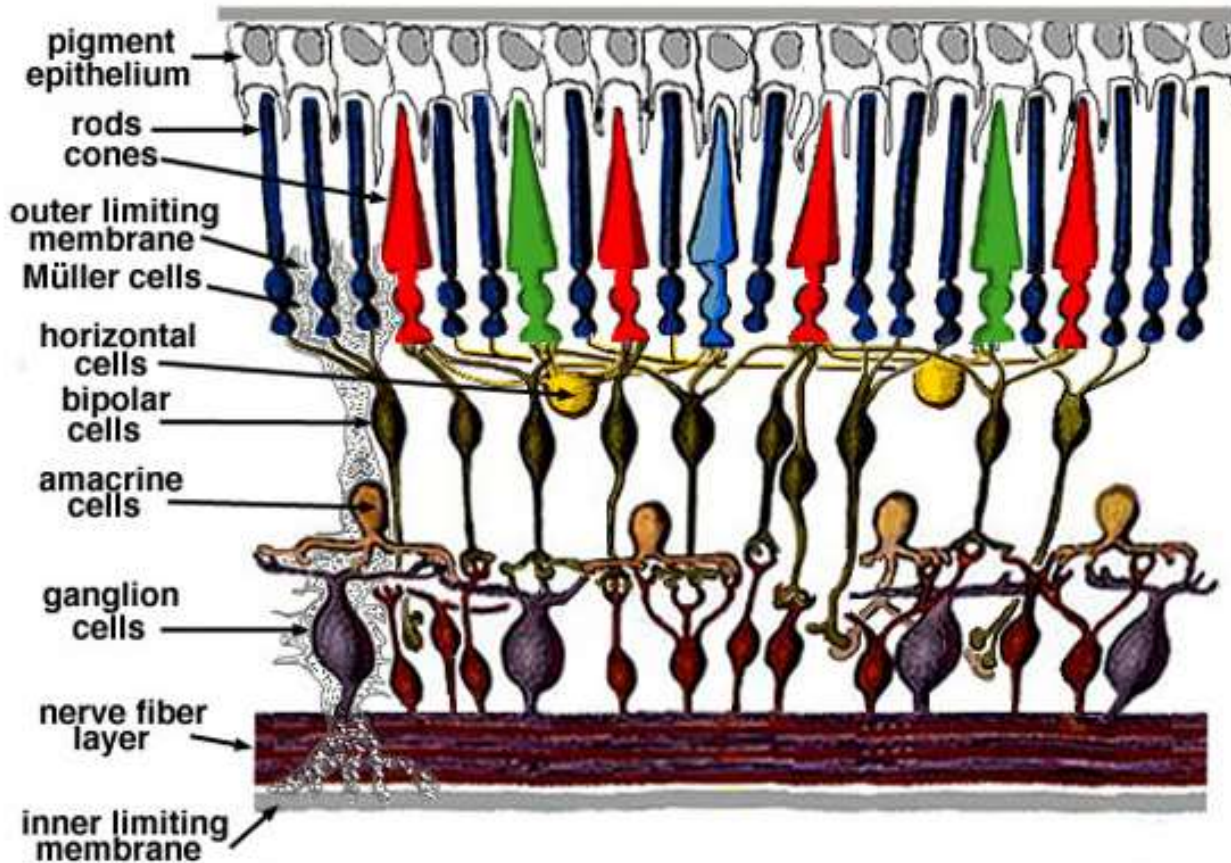
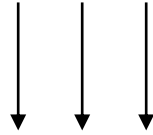
## Глаз как камера!

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

# Сетчатка глаза

---

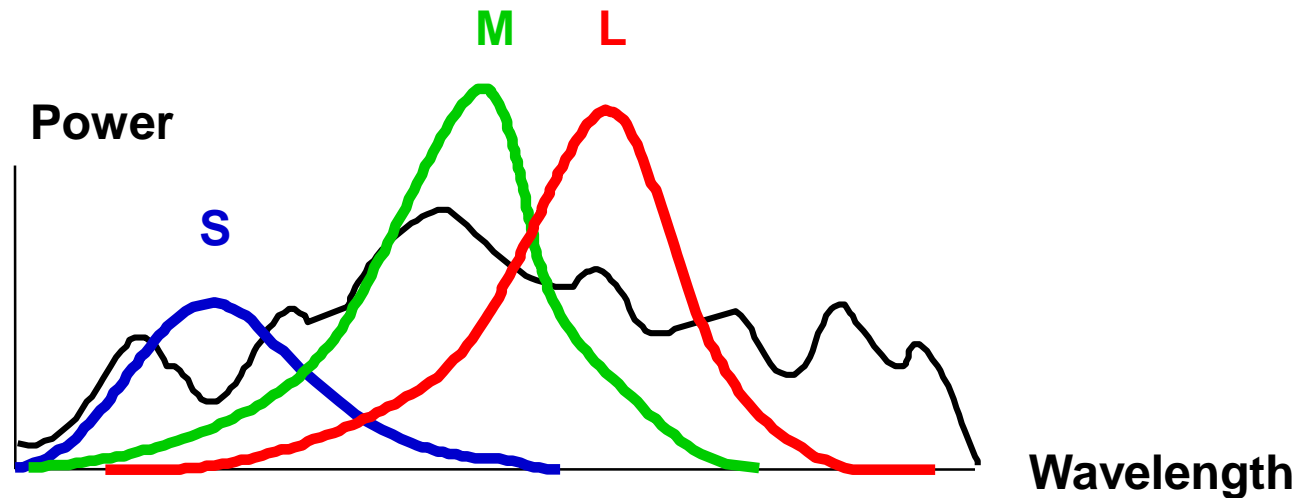
Свет



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

# Восприятие цвета

---

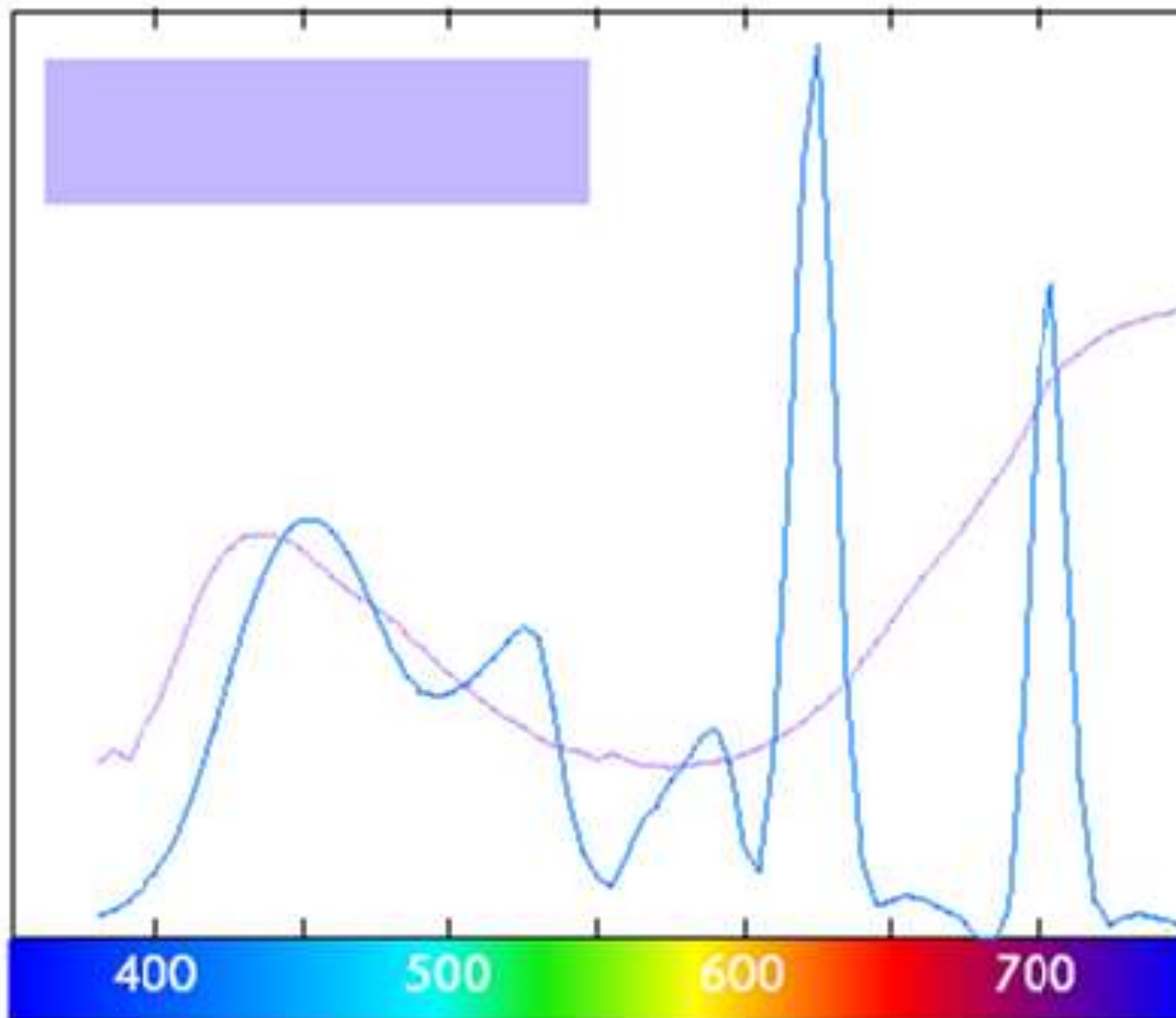


## Палочки и колбочки – фильтры спектра

- 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 3мя числами?
- О: Мы и не можем! Большая часть информации теряется.
  - Два разных спектра могут быть неотличимы
    - » Такие спектры называются **метамеры**

# Метамеры фиолетового

---





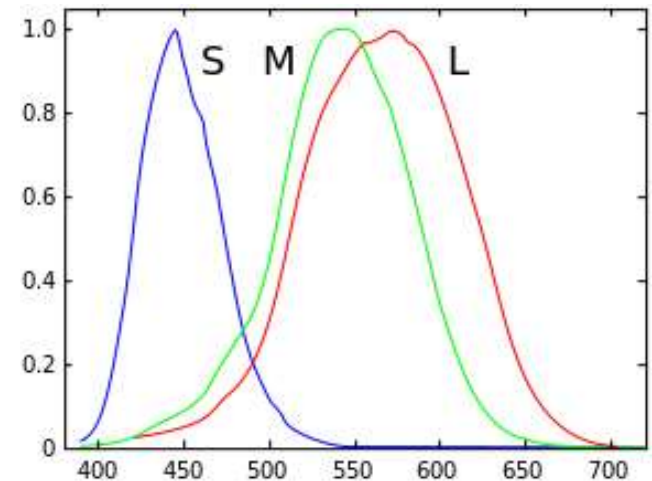
# Цветовые модели

# Модель LMS

---

- Три значения, описывающие вклад (возбуждение), каждого из трёх типов фоторецепторов

- L(long)
- M(medium)
- S(short)

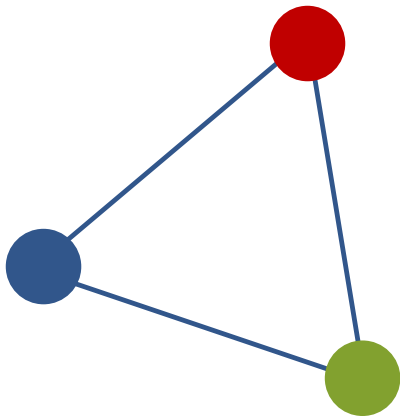


- Некоторые комбинации значений LMS невозможны для реального света
  - $M > 0, S = L = 0$
- Невозможно на практике построить дисплей, работающий в LMS

# 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



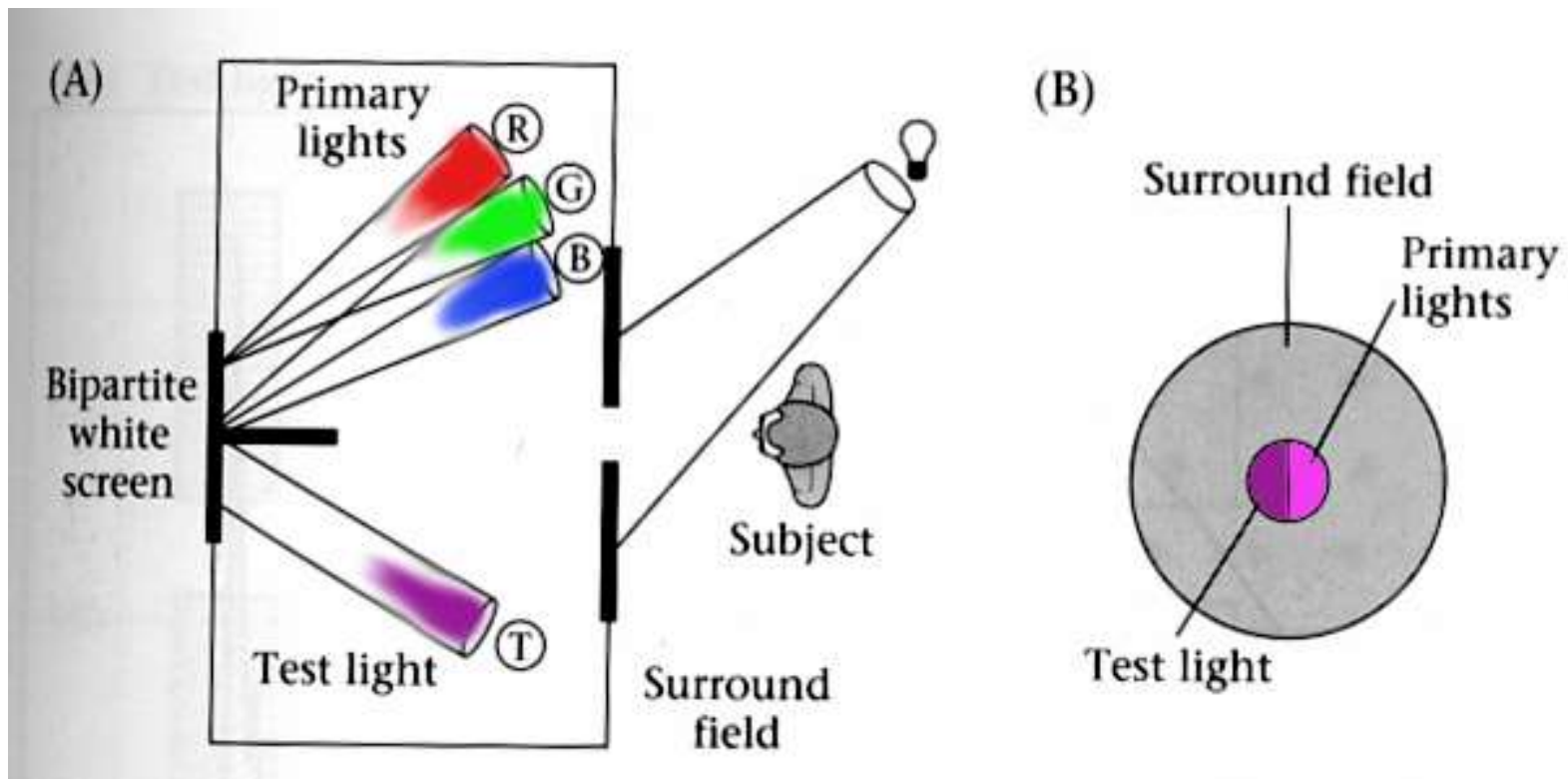
$$A = u_1 P_1 + u_2 P_2 + u_3 P_3$$

Смешение трех цветов

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

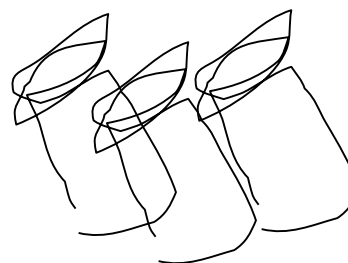
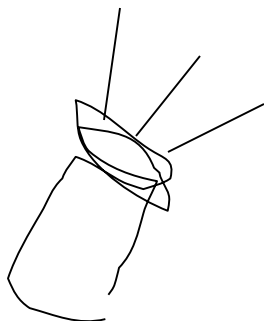
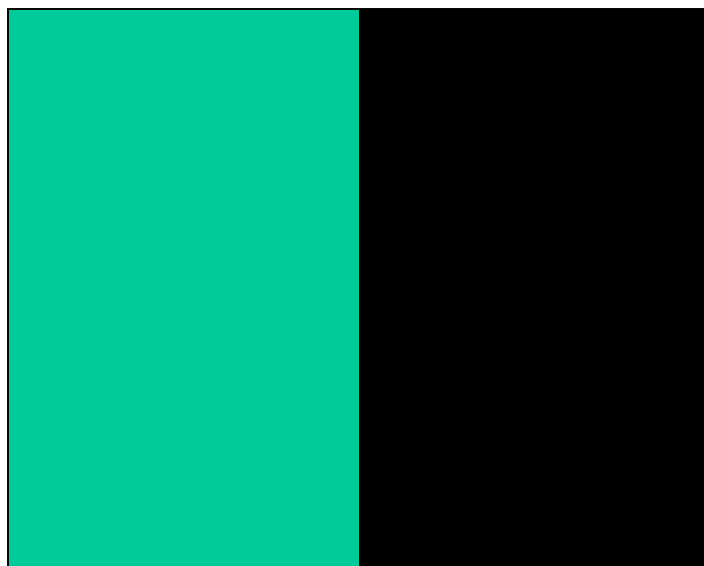
# Сопоставление цветов

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



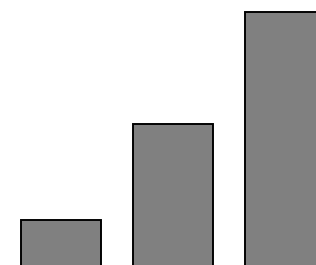
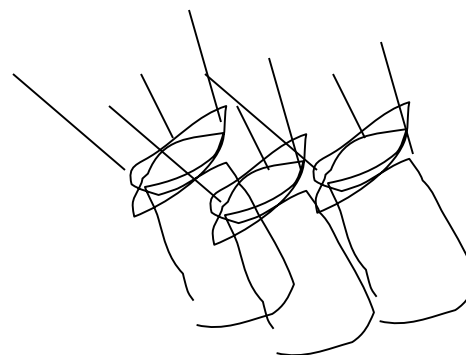
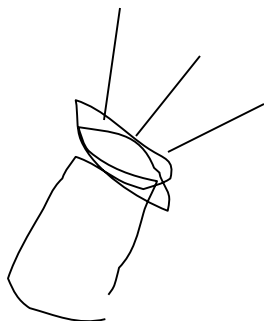
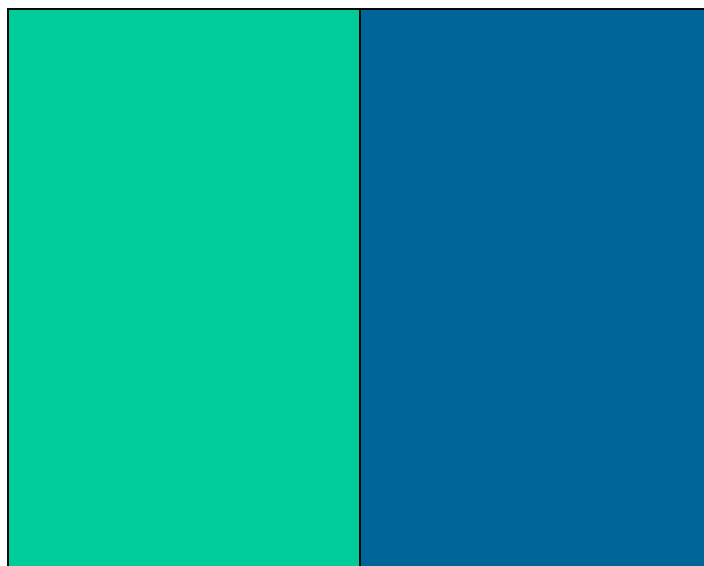
# Эксперимент №1

---



# Эксперимент №1

---



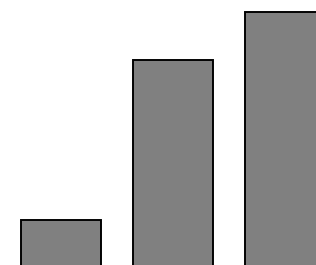
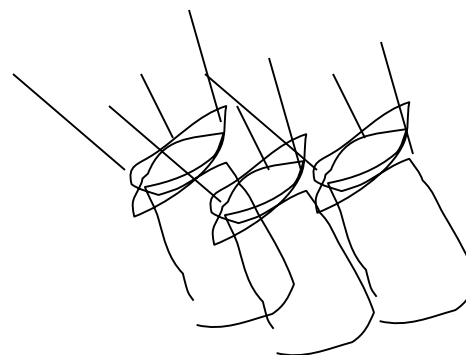
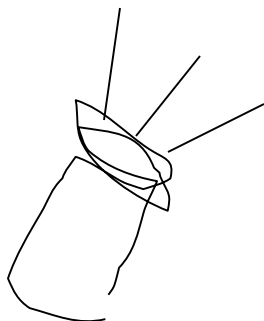
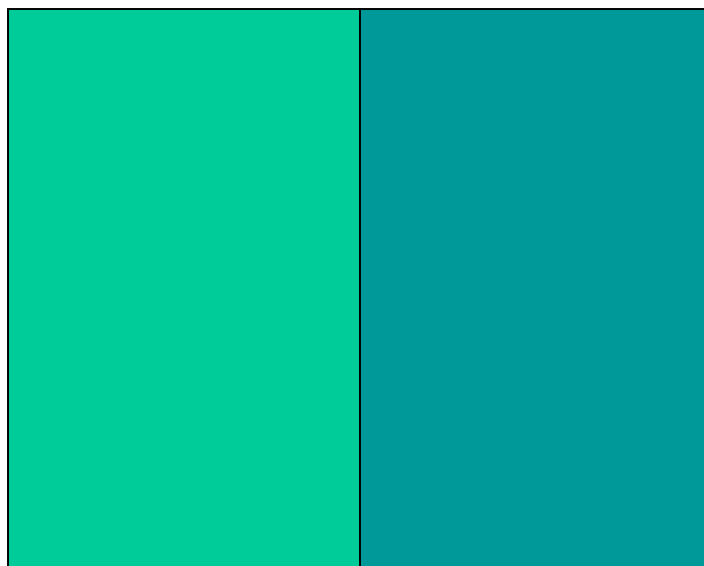
$p_1$   $p_2$   $p_3$

Source: W. Freeman



# Эксперимент №1

---

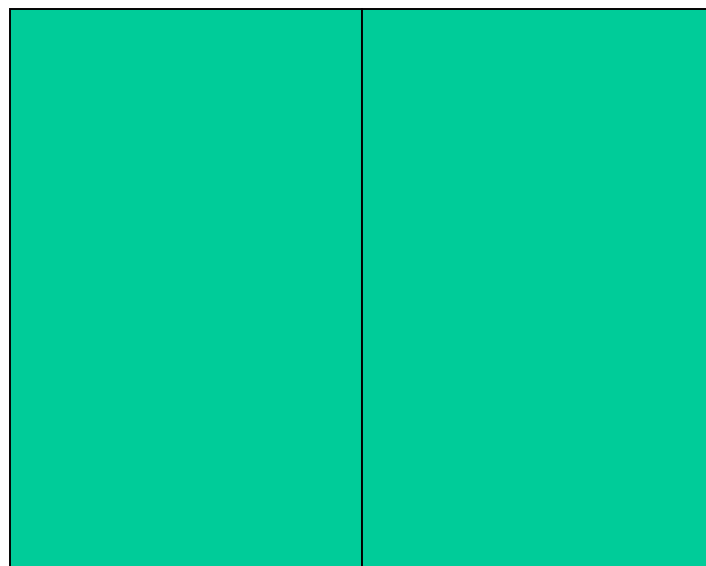


$p_1$   $p_2$   $p_3$

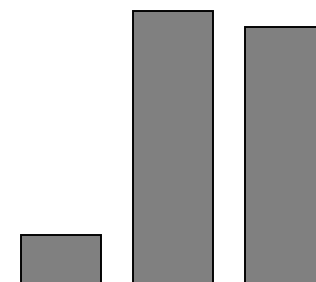
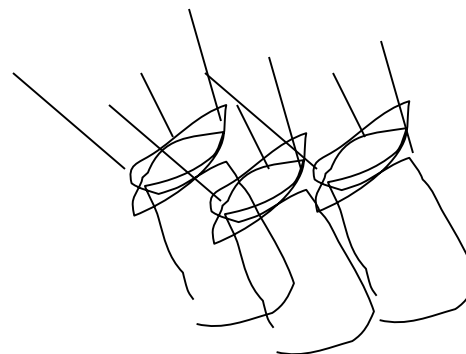
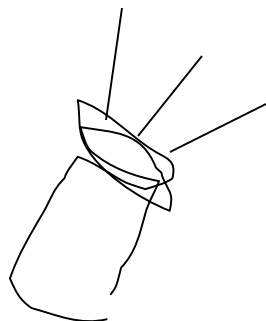
Source: W. Freeman

# Эксперимент №1

---



«Координаты»  
света в нашей  
модели



$p_1$   $p_2$   $p_3$

# Закон аддитивности Грассмана (1853)

---

- Сопоставление цветов линейное
- Если два источника света сопоставляются одинаковыми весами базовых источников, то они воспринимаются одинаково
  - Пусть  $A = u_1P_1 + u_2P_2 + u_3P_3$  и  $B = u_1P_1 + u_2P_2 + u_3P_3$
  - Тогда  $A = B$
- Если мы смешиваем два источника, тогда смешение соответствующих им базовым источникам будет восприниматься также
  - Пусть  $A = u_1P_1 + u_2P_2 + u_3P_3$  и  $B = v_1P_1 + v_2P_2 + v_3P_3$
  - Тогда  $A + B = (u_1 + v_1)P_1 + (u_2 + v_2)P_2 + (u_3 + v_3)P_3$
- Если мы увеличиваем яркость источника света, тогда яркость соответствующих базовых светов должна быть увеличена на такое же значение
  - Пусть  $A = u_1P_1 + u_2P_2 + u_3P_3$
  - Тогда  $kA = k(u_1)P_1 + (ku_2)P_2 + (ku_3)P_3$

# Модель CIE RGB 1931

---

- Выберем три монохроматических цвета в качестве основных на основании информации о чувствительности колбочек
- CIE RGB 1931 от International Commission on Illumination (CIE)



$$p_1 = 645.2 \text{ nm}$$

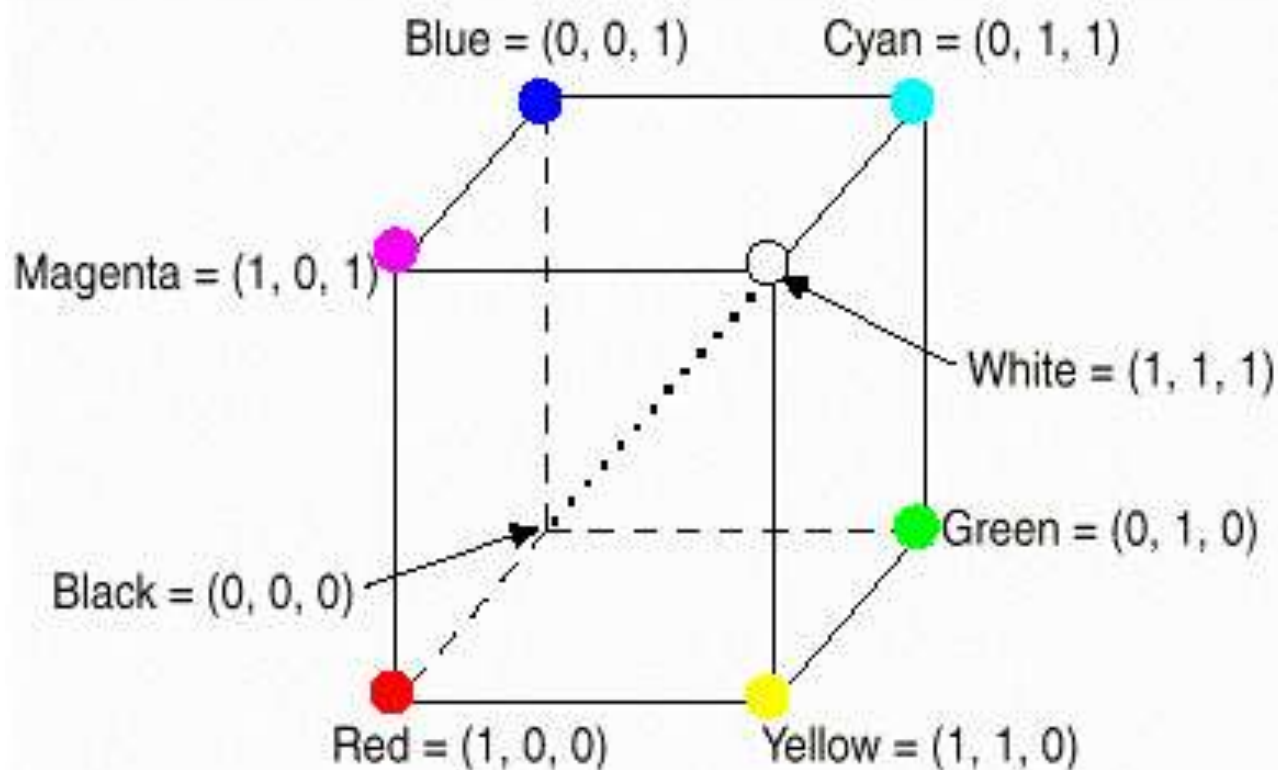
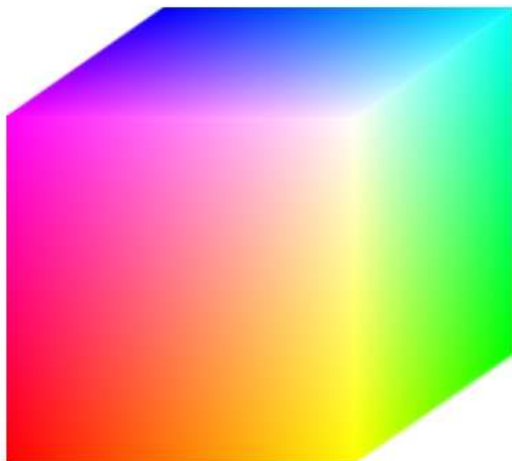


$$p_2 = 525.3 \text{ nm}$$



$$p_3 = 444.4 \text{ nm}$$


# Цветовой куб RGB





Множество цветов, задаваемых цветовой моделью  
RGB

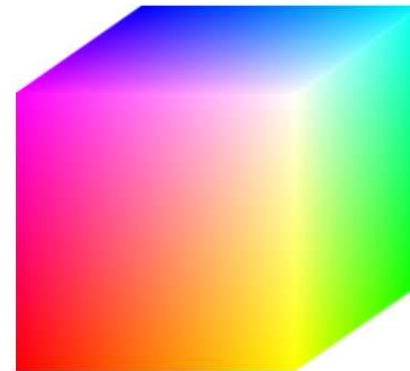
# Модель RGB

---

  $p_1 = 645.2 \text{ nm}$

  $p_2 = 525.3 \text{ nm}$

  $p_3 = 444.4 \text{ nm}$

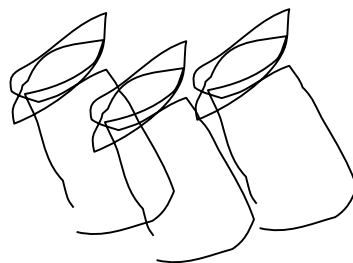
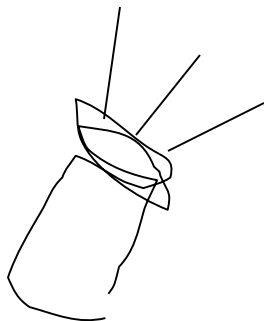


- Описывает ли модель RGB всё множество видимых человеком цветов?
- Для проверки проведём эксперимент и попробуем сопоставить каждой длине волны видимого света (когерентному источнику света) цвет в модели RGB
- *Функции сопоставления* - веса, необходимые для сопоставления с когерентными источниками света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



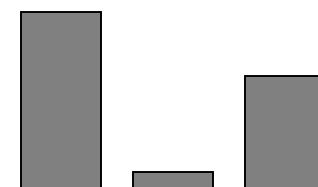
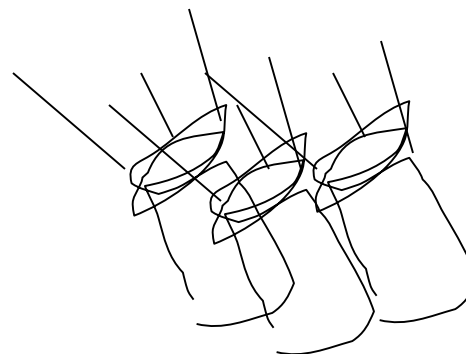
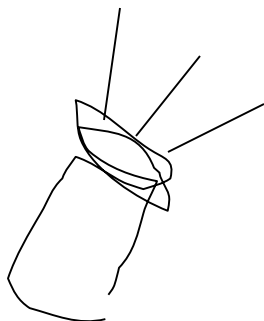
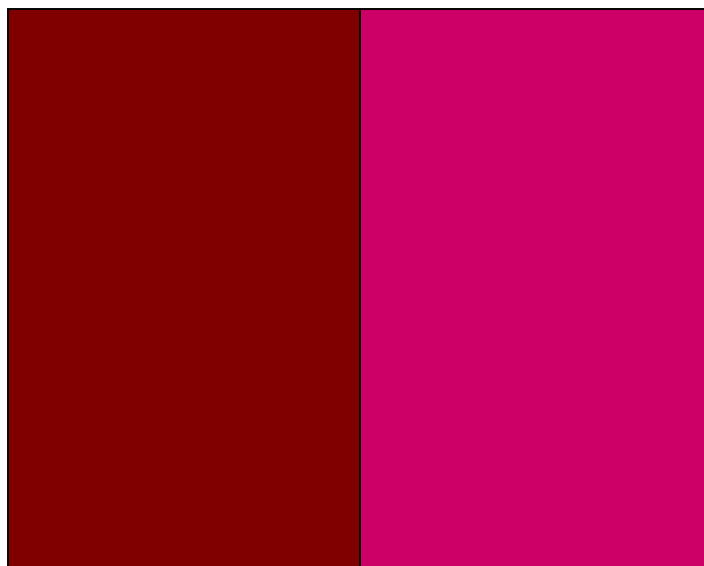
# Эксперимент №2

---



# Эксперимент №2

---

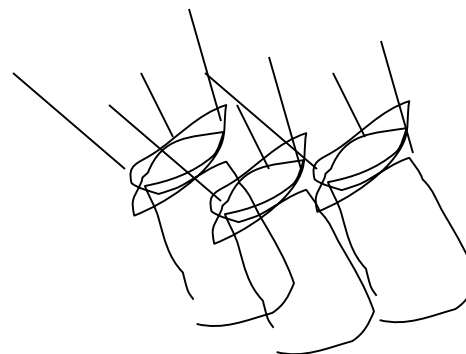
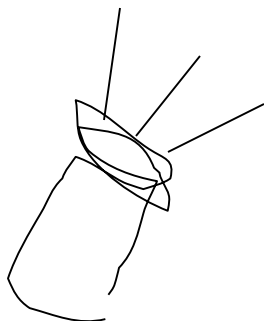
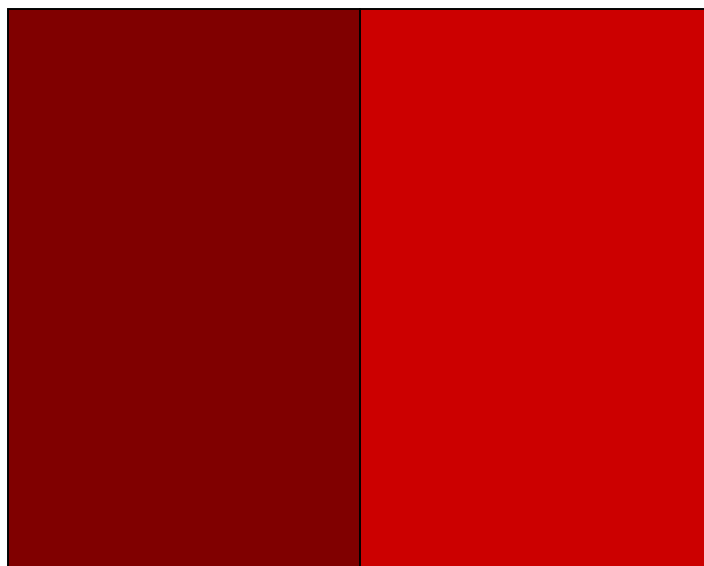


$p_1$   $p_2$   $p_3$

Source: W. Freeman

# Эксперимент №2

---



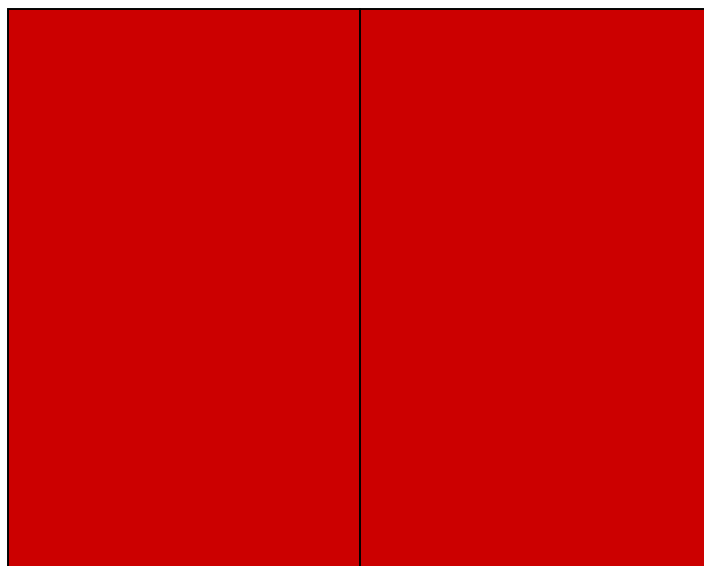
$p_1$   $p_2$   $p_3$

Source: W. Freeman

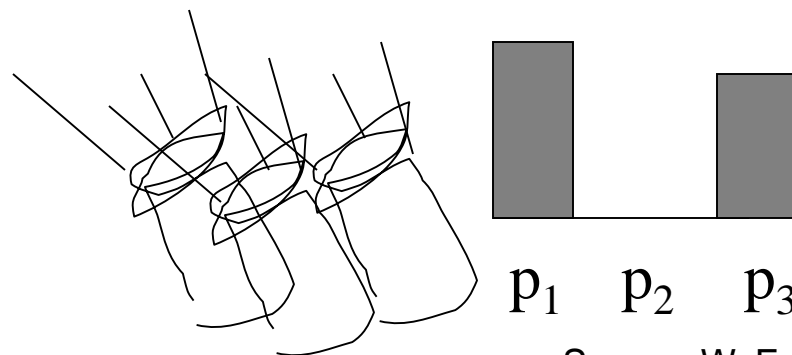
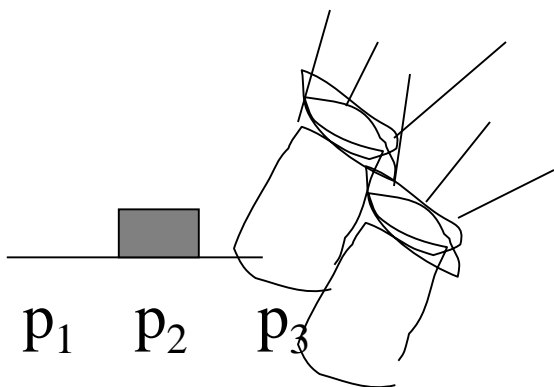
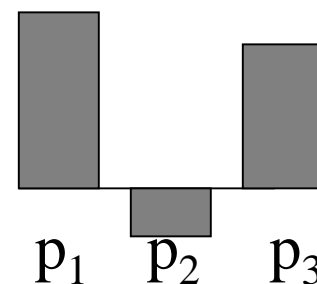
# Эксперимент №2

---

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






Веса основных цветов, необходимых для сопоставления:

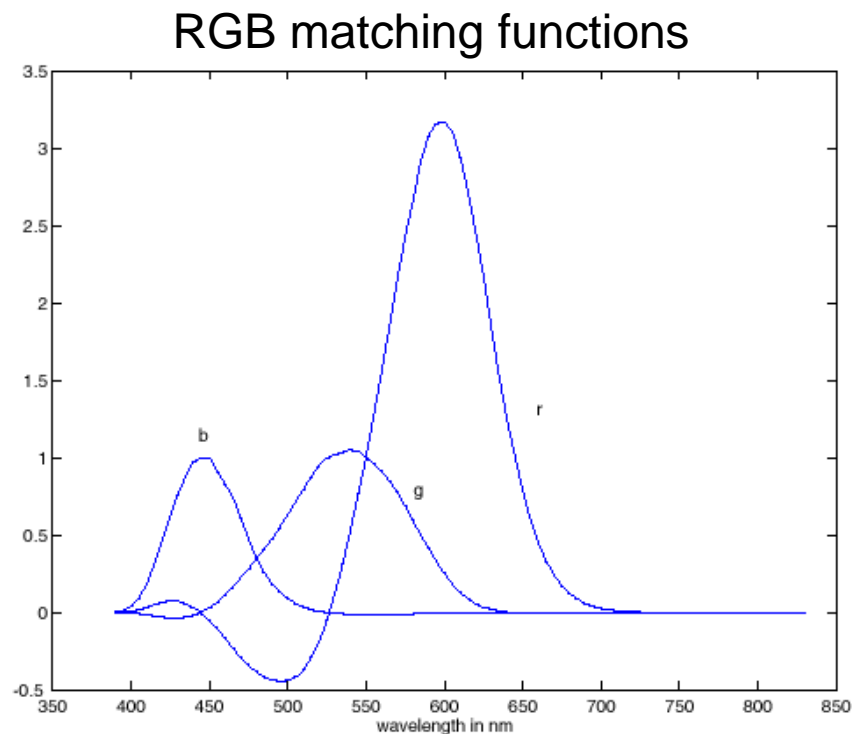


# Линейная цветовая модель RGB

---

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

Модель RGB не  
полностью описывает  
всё множество видимых  
цветов



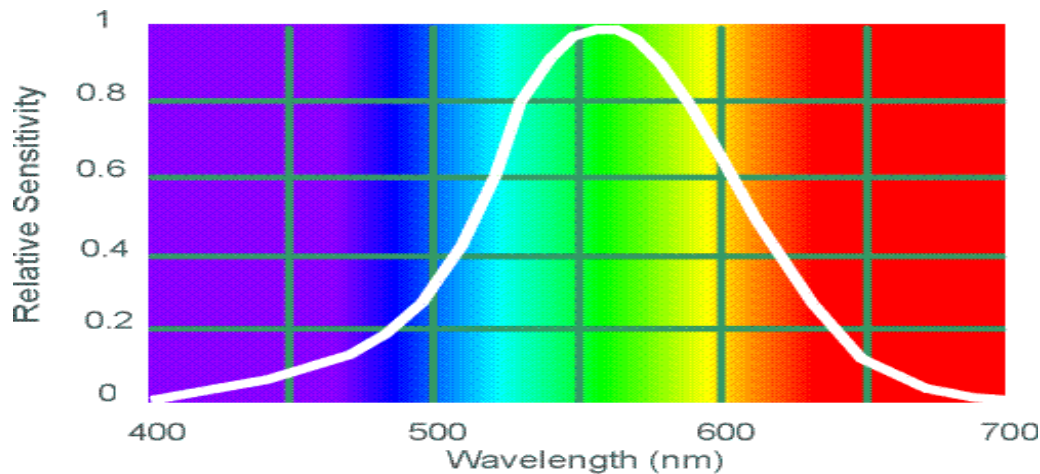
«Вычитание» необходимо  
для соответствия некоторым  
длинам волны

# Яркость и цветность

---

Интуитивно можно выделить характеристики света:

- Яркость (brightness)
- Цветность (chromaticity)



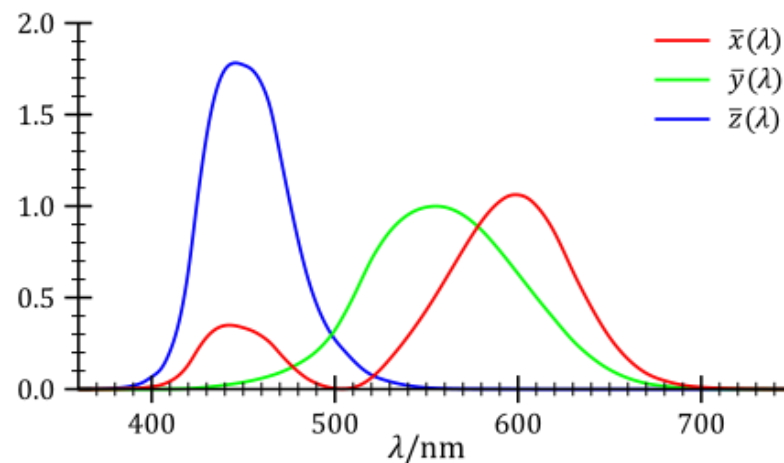
Функция чувствительности  
глаза человека к свету  
(воспринимаемая яркость)

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



# CIE 1931 (XYZ)

- Хотим получить линейную аддитивную модель XYZ:
  - покрывает всё множество видимых цветов
  - Y должен соответствовать видимой яркости света
  - Функции сопоставления должны быть неотрицательными
- X, Z тогда будут описывать «хроматическую» (цветовую) компоненту
- Точки (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1) будут мнимыми базовыми цветами
- X, Y, Z изменяются от 0 до  $\infty$



$$X = \int_{380}^{780} L_{e,\Omega,\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda,$$
$$Y = \int_{380}^{780} L_{e,\Omega,\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda,$$
$$Z = \int_{380}^{780} L_{e,\Omega,\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda.$$

# Перевод из XYZ в RGB

---

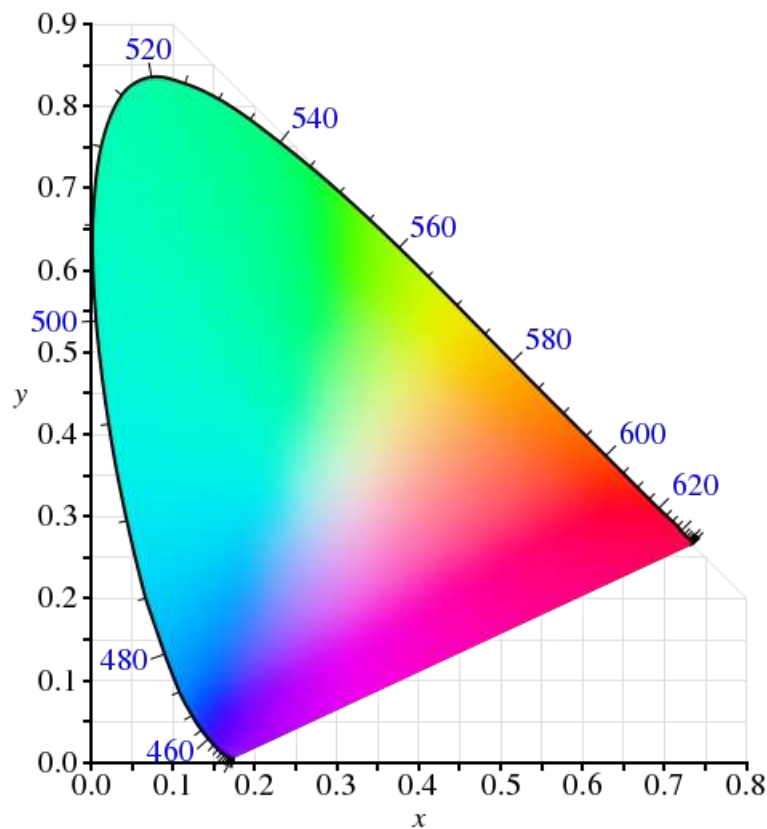
- XYZ, RGB – линейные трихроматические модели
- Из одной модели в другую можем перейти с помощью линейного преобразования

$$\begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix}$$

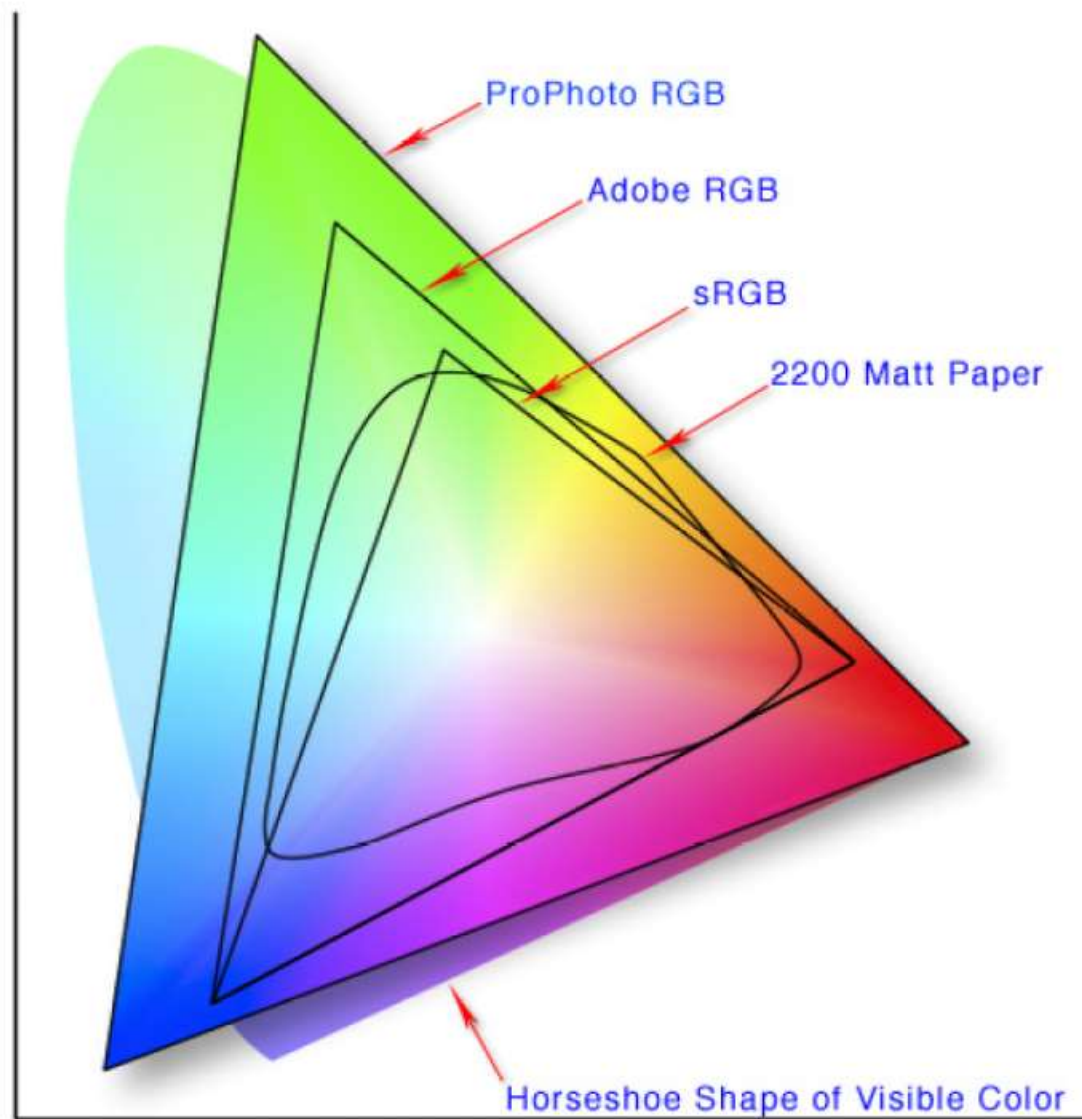
# CIE xyY и gamut

- Опишем цветность двумя нормированными параметрами  $x$  и  $y$ 
  - $x = X/(X+Y+Z)$
  - $y = Y/(X+Y+Z)$
- Можем построить диаграмму цветов для  $x, y \in [0,1]$
- Наблюдения:
  - Когерентные источники света располагаются по дуге
  - Нижняя прямая «фиолетового» соответствует цветам, которые невозможно получить когерентным источником света
  - Никакими тремя реальными базовыми цветами невозможно покрыть видимый диапазон цветов



# Различные модели

---



# Нелинейность яркости



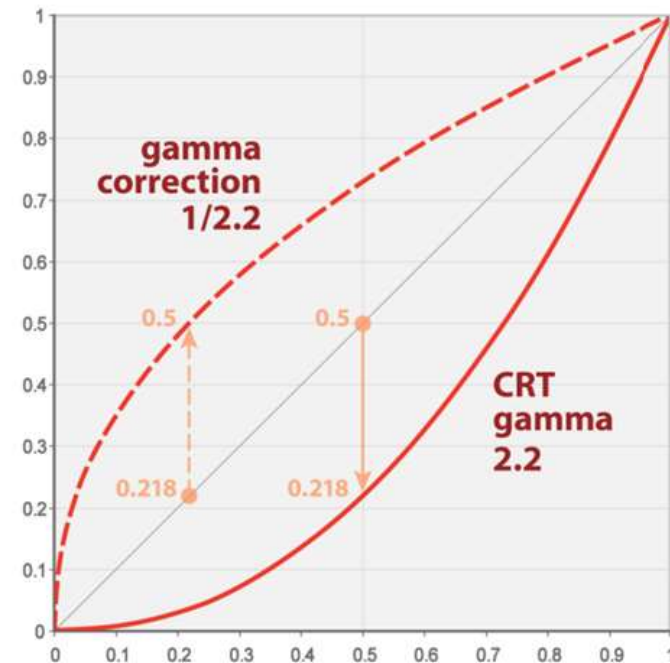
Физически равномерные яркости



Субъективно равномерные яркости

- Глаз лучше различает изменения яркости в тёмных областях, чем в светлых
- Поэтому хранить линейную яркость неэффективно
- Помогает гамма-преобразование

$$y = c \cdot x^\gamma$$



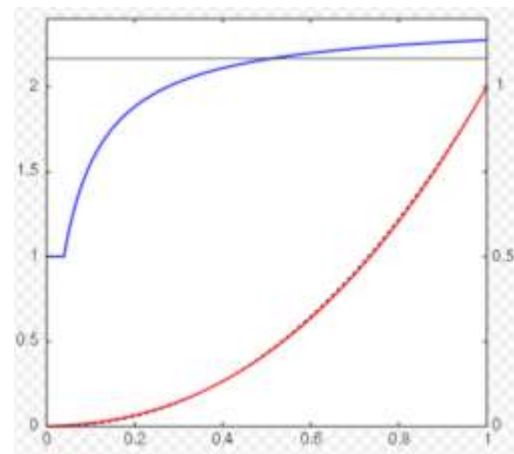
# Модель sRGB

- Стандартная RGB модель для HDTV, мониторов, цифровых камер и т.д.
- Из XYZ в sRGB

$$\begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$C_{\text{srgb}} = \begin{cases} 12.92 C_{\text{linear}}, & C_{\text{linear}} \leq 0.0031308 \\ (1 + a) C_{\text{linear}}^{1/2.4} - a, & C_{\text{linear}} > 0.0031308 \end{cases}$$

$$a=0.055$$



- Из sRGB и XYZ

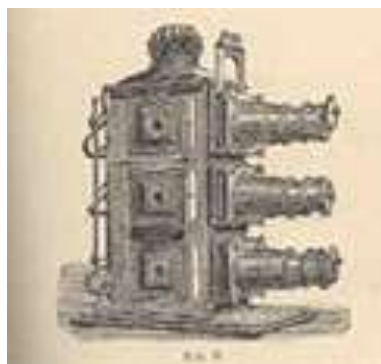
$$C_{\text{linear}} = \begin{cases} \frac{C_{\text{srgb}}}{12.92}, & C_{\text{srgb}} \leq 0.04045 \\ \left( \frac{C_{\text{srgb}} + a}{1 + a} \right)^{2.4}, & C_{\text{srgb}} > 0.04045 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} \quad \text{- вычисление яркости}$$



# Первые цветные фотографии

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



Ламповый  
проектор

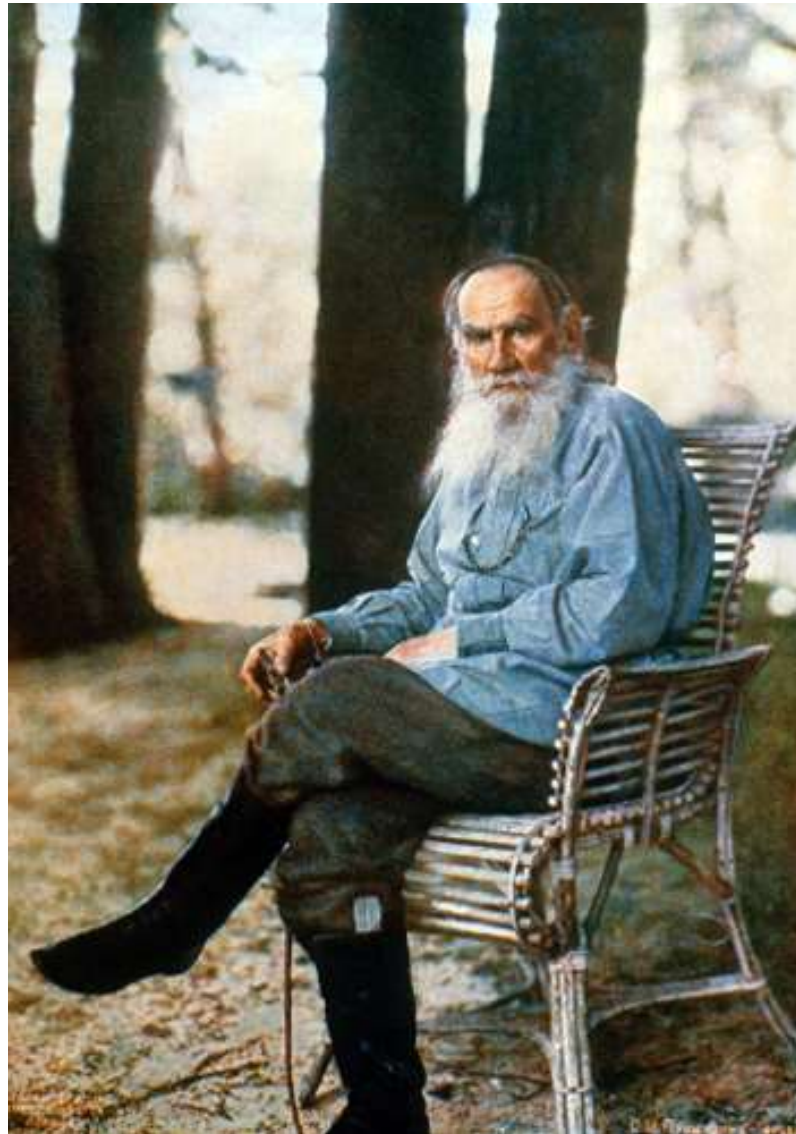


[http://en.wikipedia.org/wiki/Sergei\\_Mikhailovich\\_Prokudin-Gorskii](http://en.wikipedia.org/wiki/Sergei_Mikhailovich_Prokudin-Gorskii)

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

# Лев Толстой

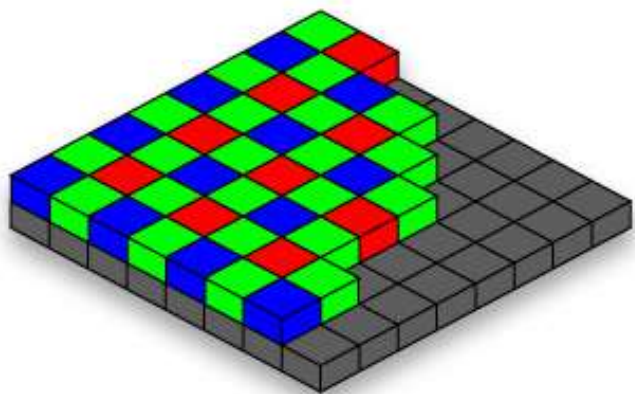
---



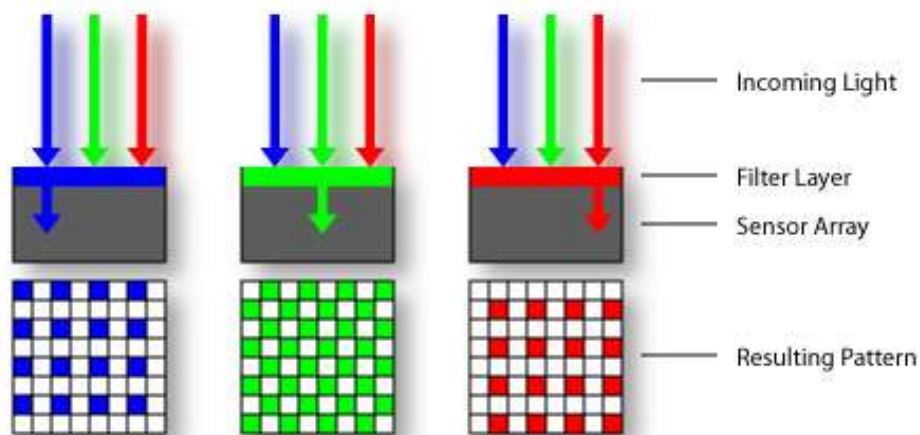
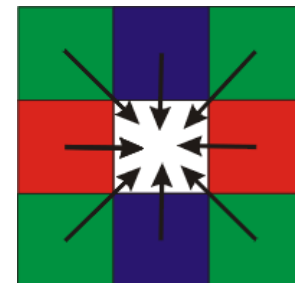
# Цветное цифровое изображение

---

## Байеровский шаблон



Демозаикинг (оценка  
пропущенных  
значений цвета)



# Устранение мозаичности и ошибки

---



Original image



Bilinear interpolation



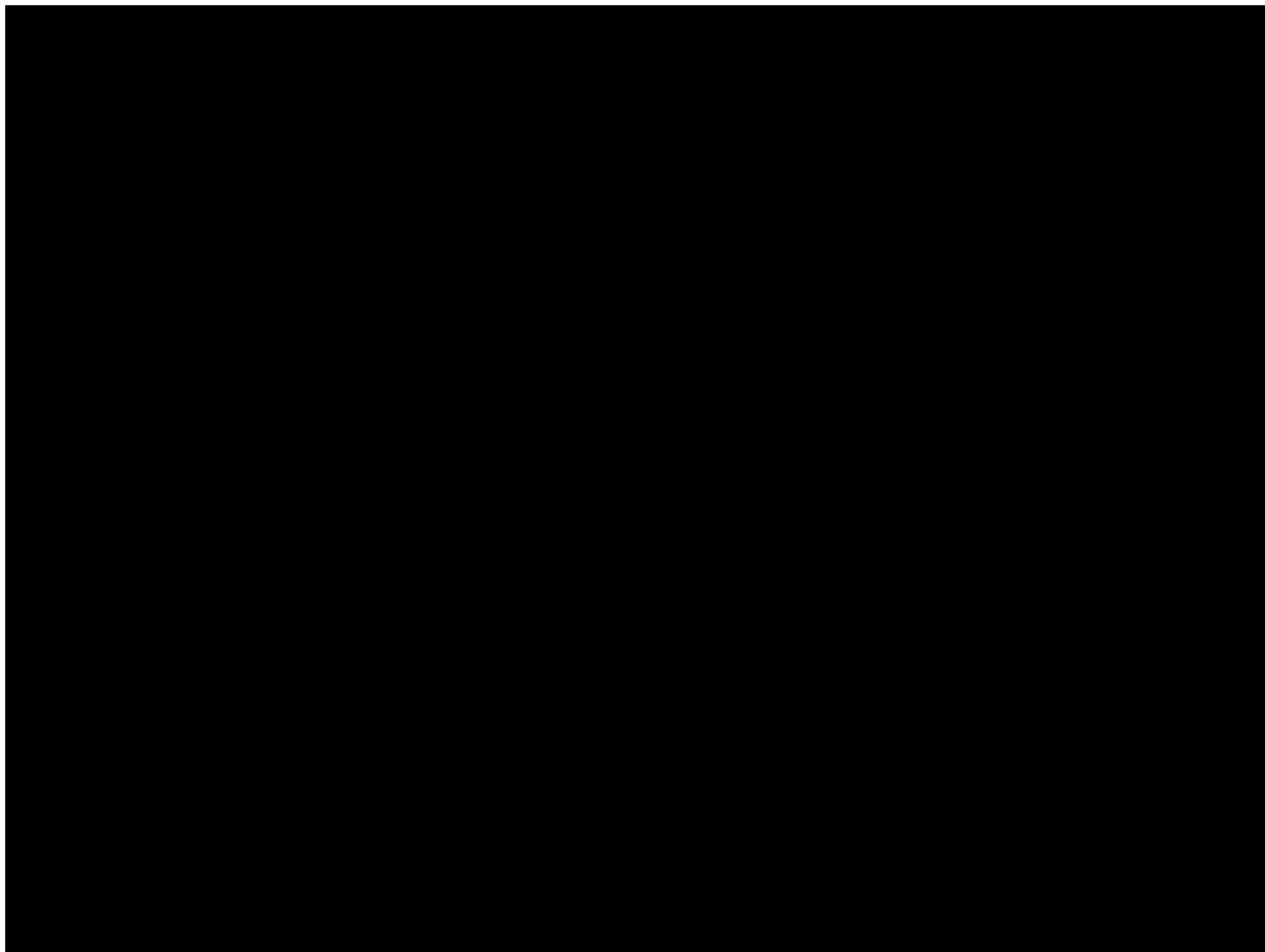
Proposed method

Тонкие черные и белые детали  
интерпретируются как изменения цвета

Фокус внимания

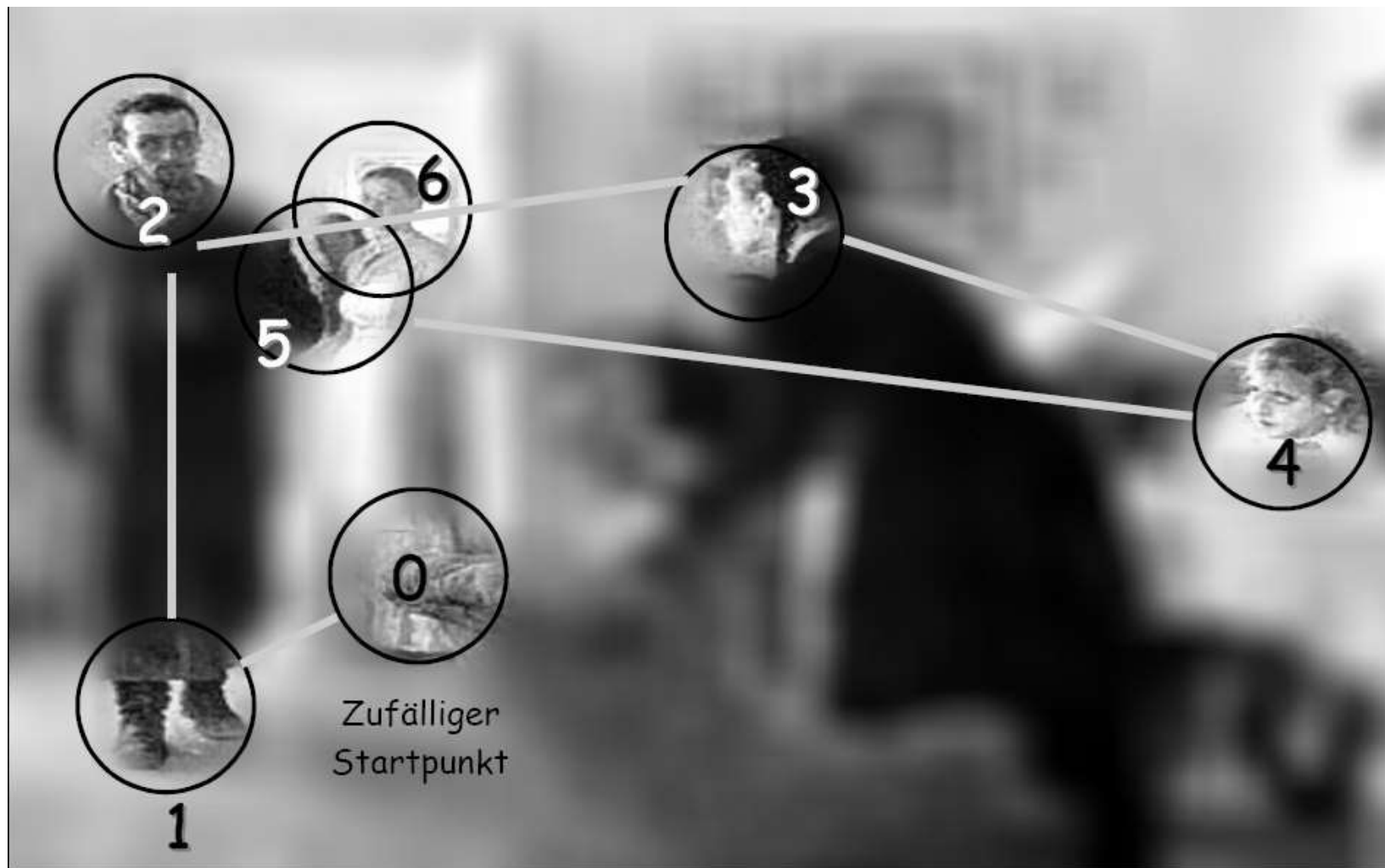
# Тест на внимательность

---



# Что мы на самом деле видим

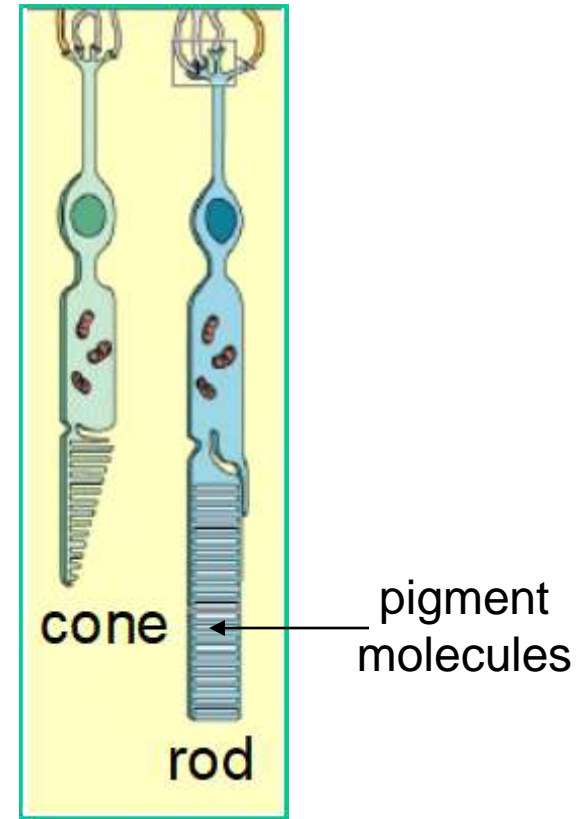
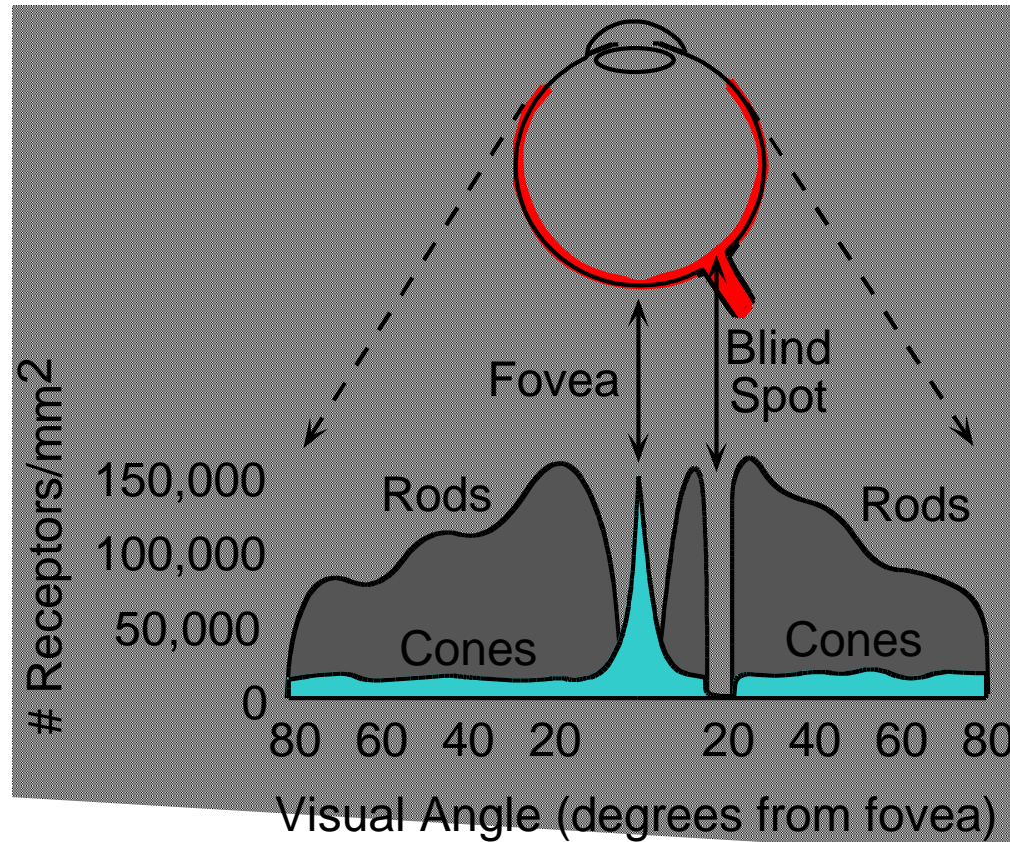
---



Yarbus, A. L. (1967), *Eye Movements and Vision*, New York: Plenum.



# 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

# Движения глаз



Free examination.

1



Estimate material circumstances of the family

2



Give the ages of the people.

3



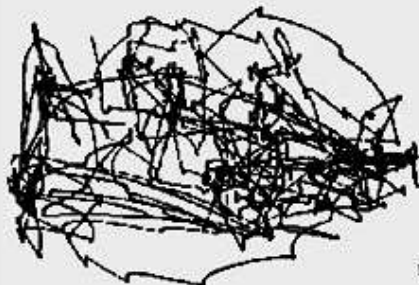
Surmise what the family had been doing before the arrival of the unexpected visitor.

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

---

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