

# Введение в техническое зрение

Степанов Дмитрий Николаевич

Начальник лаборатории систем технического  
зрения

[dnstepanov@gmail.com](mailto:dnstepanov@gmail.com)

Image by  
[kirkh.deviantart.com](http://kirkh.deviantart.com)



- Модель камеры
- Камера и человеческий глаз
- Восприятие света и цвета
- Пиксели
- Фильтрация изображений
- Практическое задание: линейные фильтры



# Проективная геометрия и модели камеры

Slides from Derek Hoiem,  
Alexei Efros, Steve Seitz, and  
David Forsyth



# Что нужно, чтобы сделать камеру?





## Камера и реальный мир

Какого роста женщина?

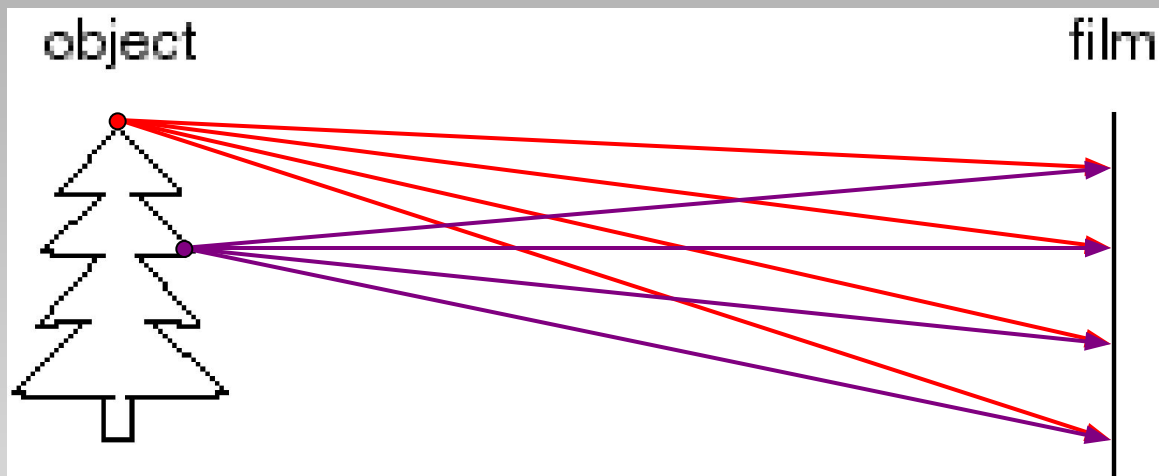
Как высоко установлена камера?

Как камера повёрнута?

Каково фокусное расстояние?

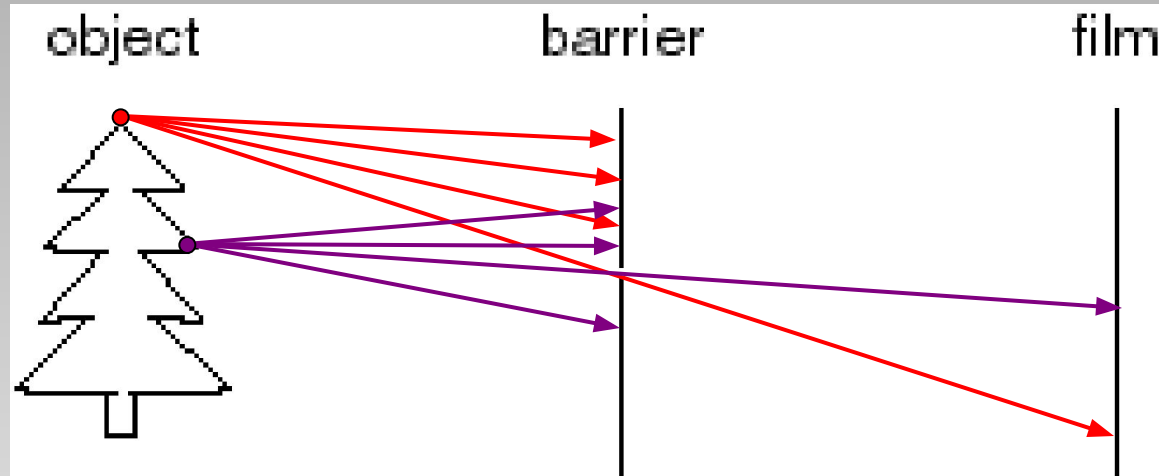
Который мяч ближе?





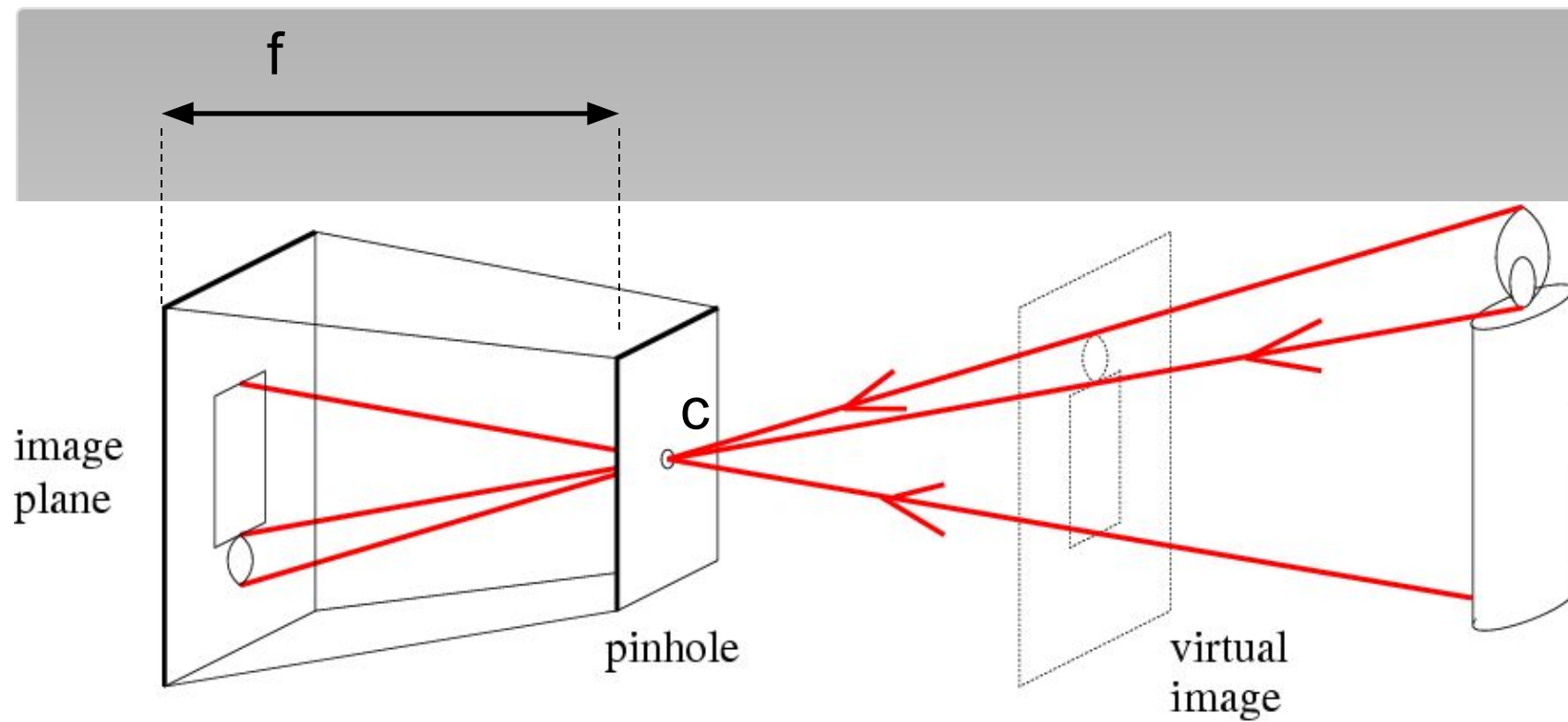
Давайте сделаем камеру

- Идея 1: поместим плёнку перед объектом
- Получим ли мы изображение? Почему?



Идея 2: добавим барьер и отсечем почти все лучи

- Это уменьшит размытие
- Отверстие известно как **диафрагма (aperture)**



$f$  = фокусное расстояние

$c$  = центр камеры (центр проекции)

Image plane = картинная плоскость



- Известна со времен Древнего Китая и Греции (Mo-Ti, China, 470BC - 390BC)

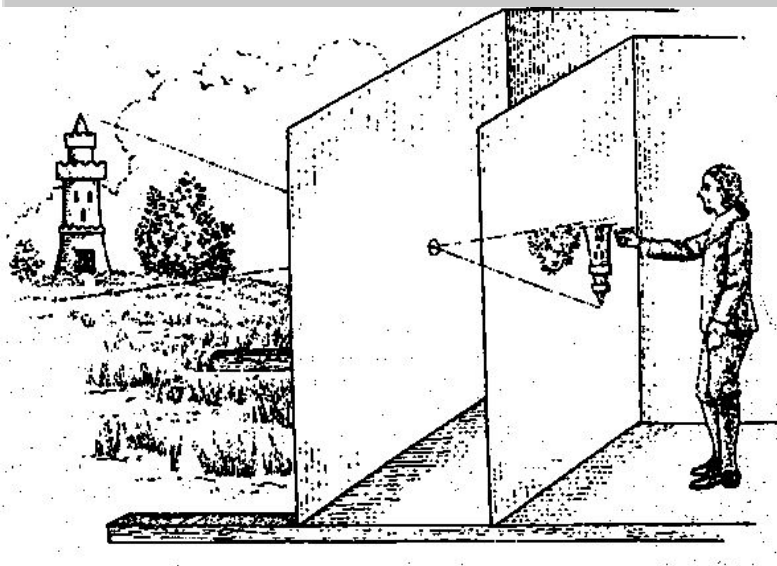


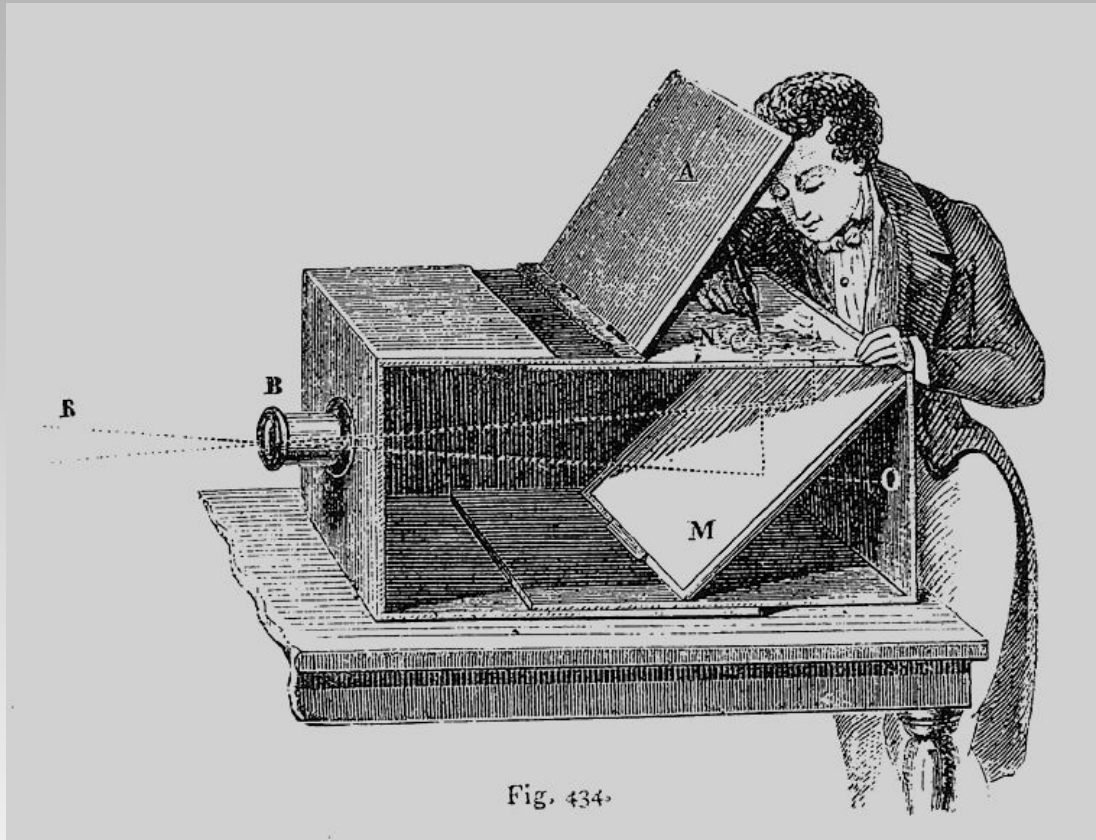
Иллюстрация Camera obscura



Настоящая камера обскура  
в Университете Северной Каролины

Photo by Seth Ilys

(лат. camera obscura — «тёмная комната»)



Lens Based Camera Obscura, 1568

Самая старая сохранившаяся  
фотография

- 8 часов, пьютерная  
(оловянная) пластина



Жозеф Ньепс, 1826

Фотография первой фотографии



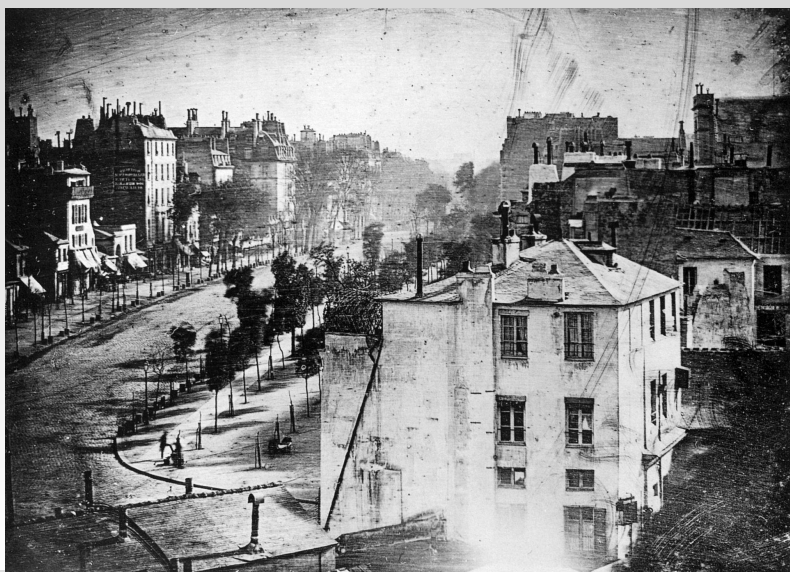
Университет Техаса, Остин

Ньепс позже работал с Луи Дагером над созданием дагеротипов

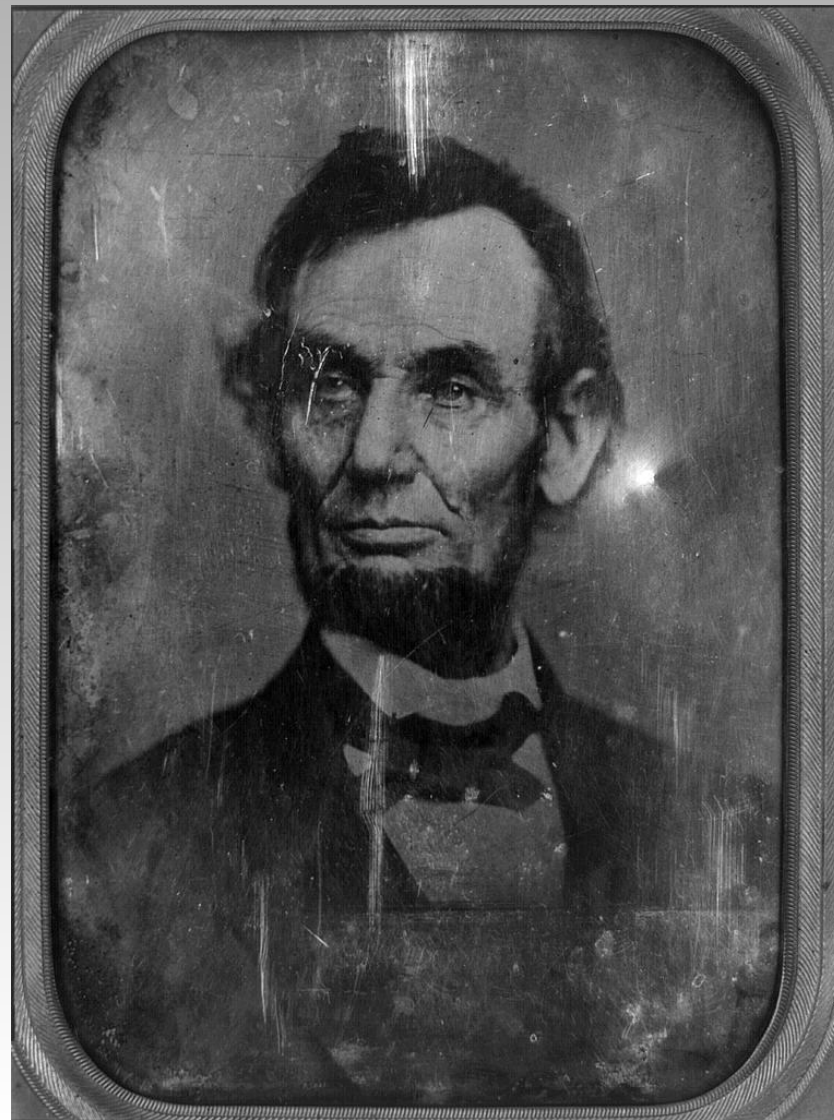


# Первые фотографии: дагерротип, 20 минут

1837

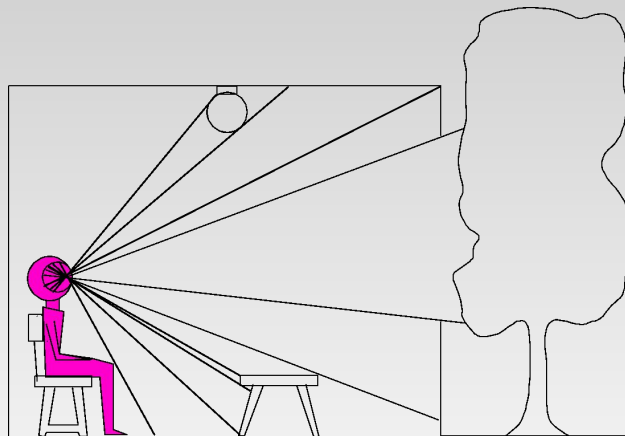


1864



# Изображение – отображение сцены на плоскости

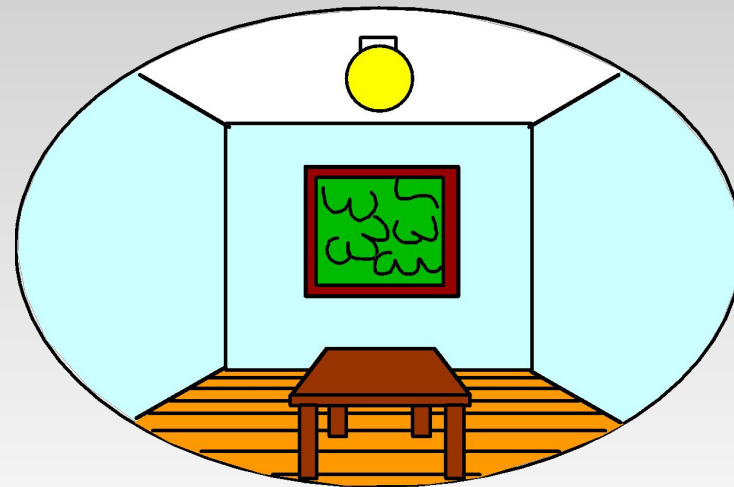
*Трёхмерный мир*



Point of observation



*Двумерное изображение*





# Проекция может быть обманчива





# Проекция может быть обманчива



# Что теряется?

- Длина (расстояние)







# Расстояние не сохраняется

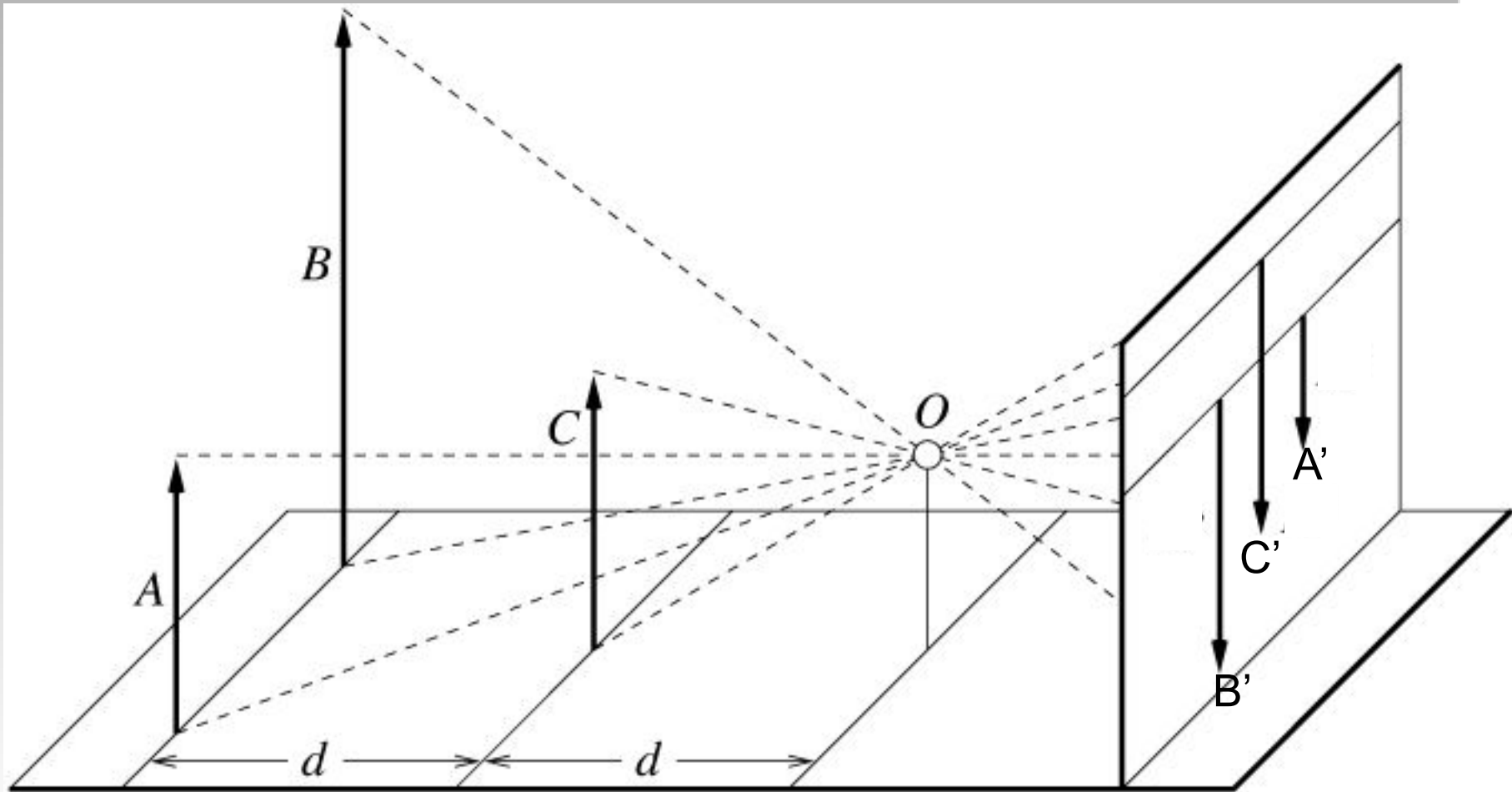


Figure by David Forsyth

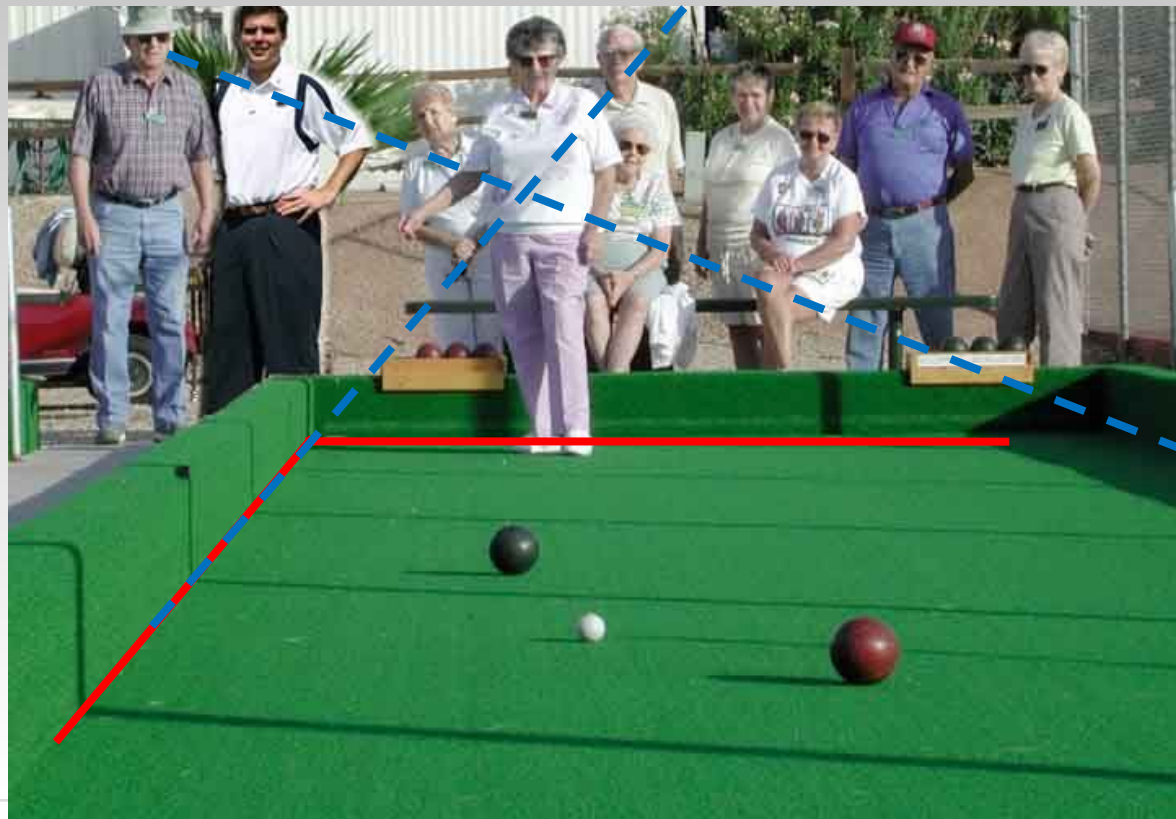
# Что теряется?

- Длина
- Углы

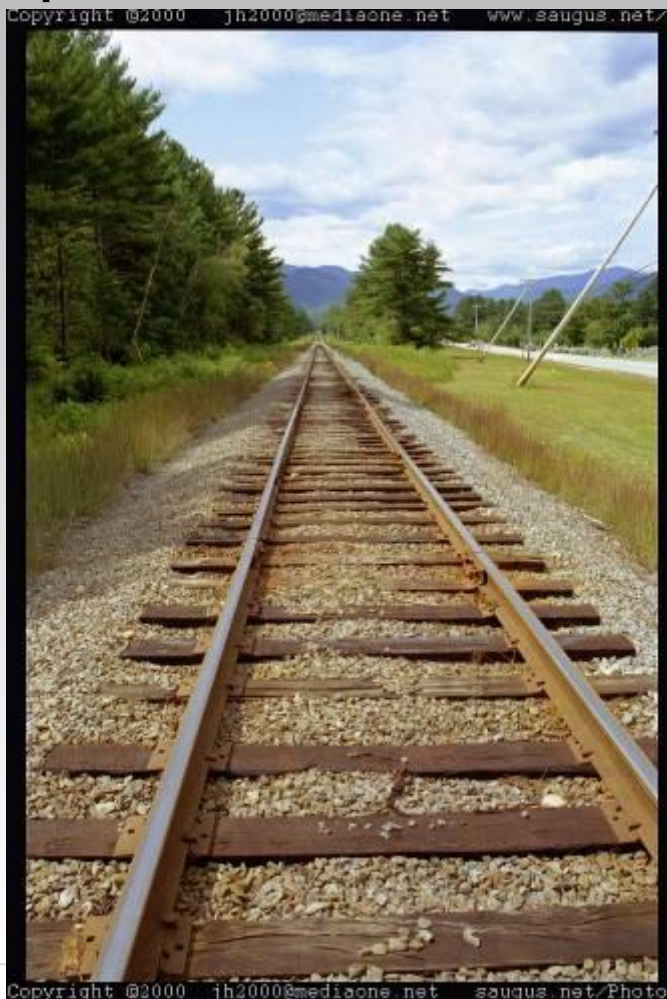


# Что сохраняется?

- Прямые линии остаются прямыми

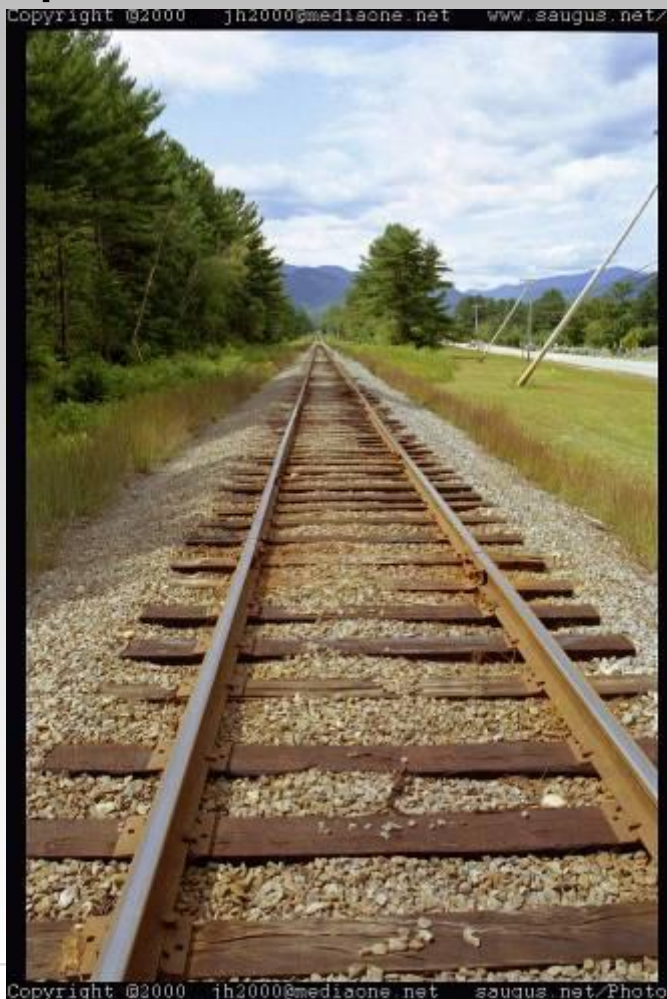


Параллельные в реальности линии  
пересекаются на кадре в точках схода,  
образующих...



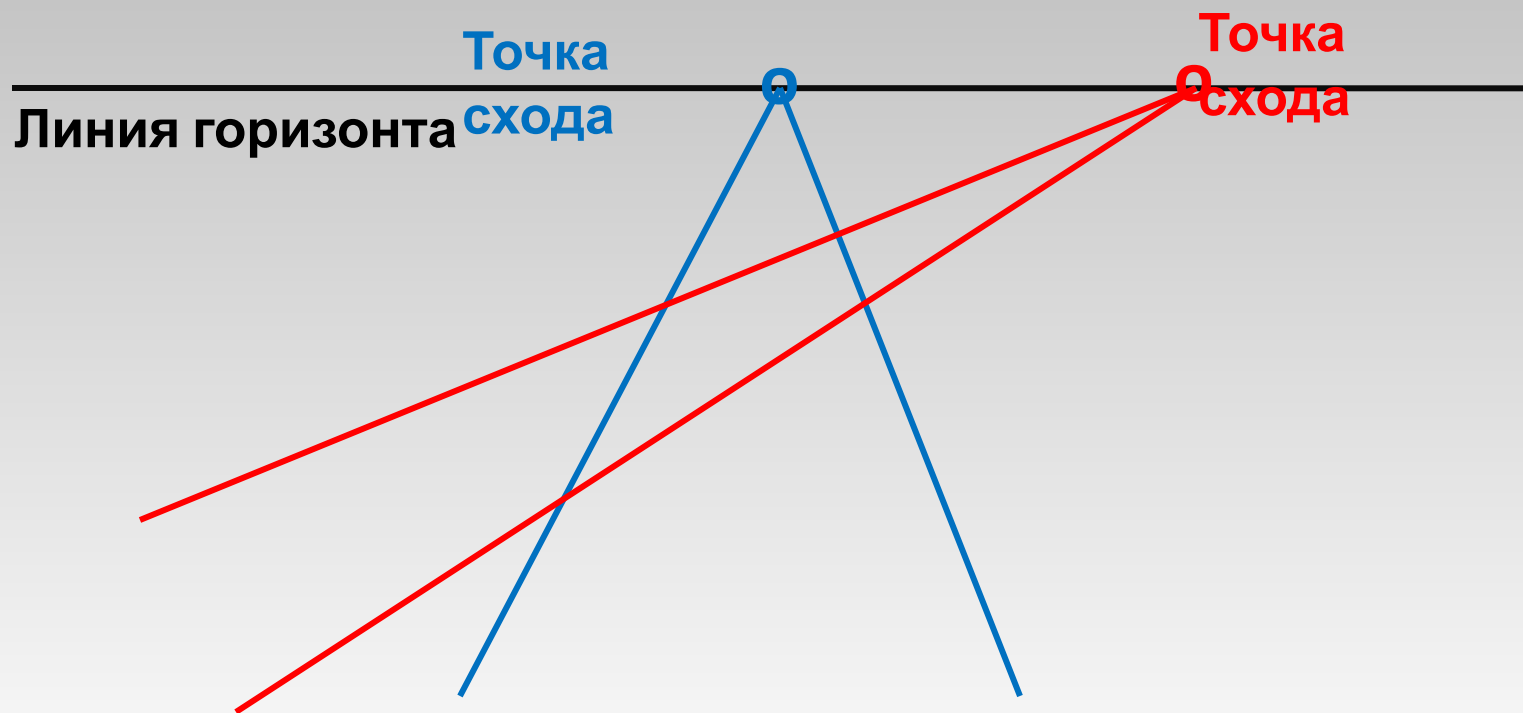


Параллельные в реальности линии  
пересекаются на кадре в точках схода,  
образующих...  
линию горизонта



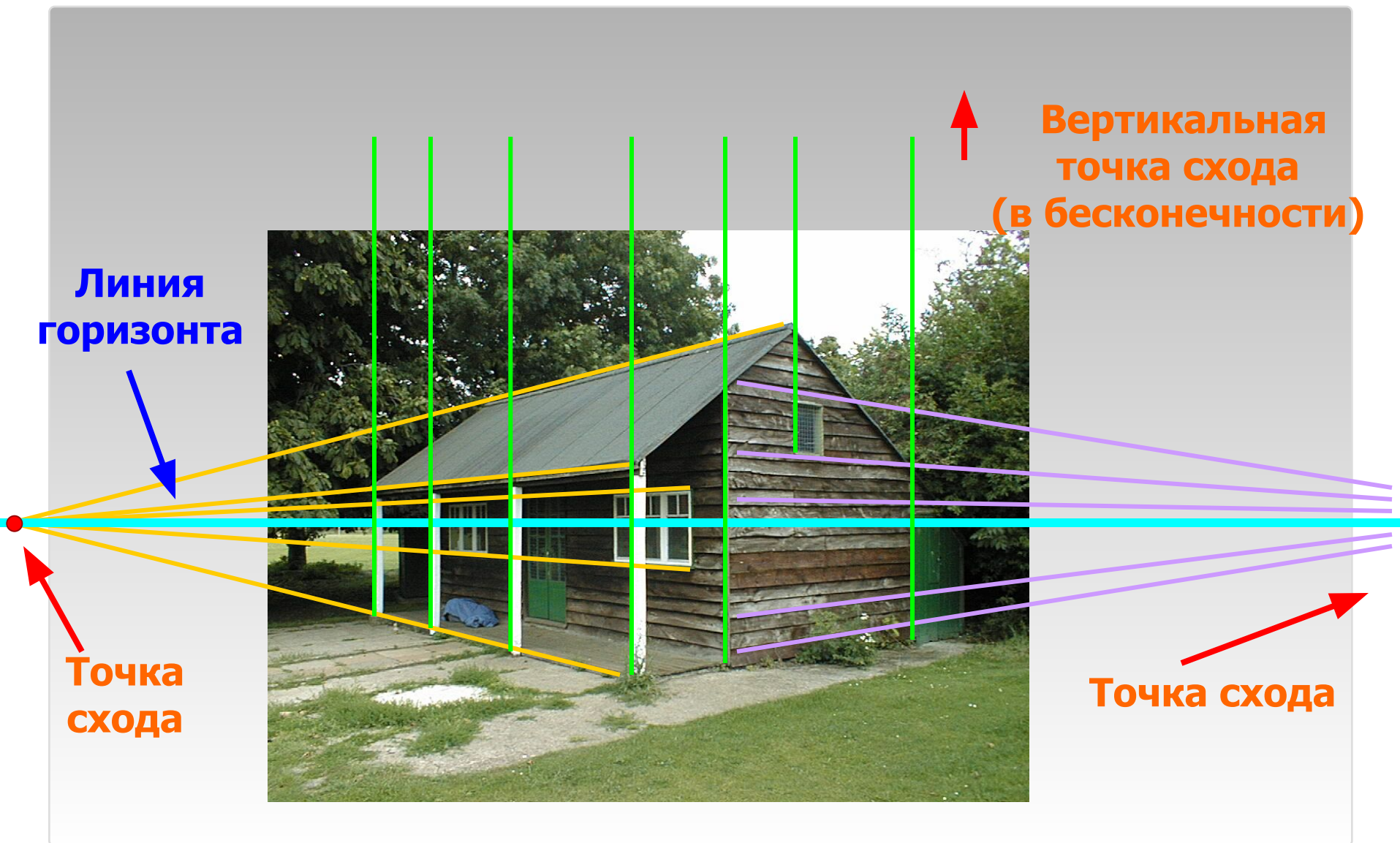


# Линия горизонта





# Линия горизонта



Линия  
горизонта

Точка  
схода

Вертикальная  
точка схода  
(в бесконечности)

Точка схода



# Линия горизонта

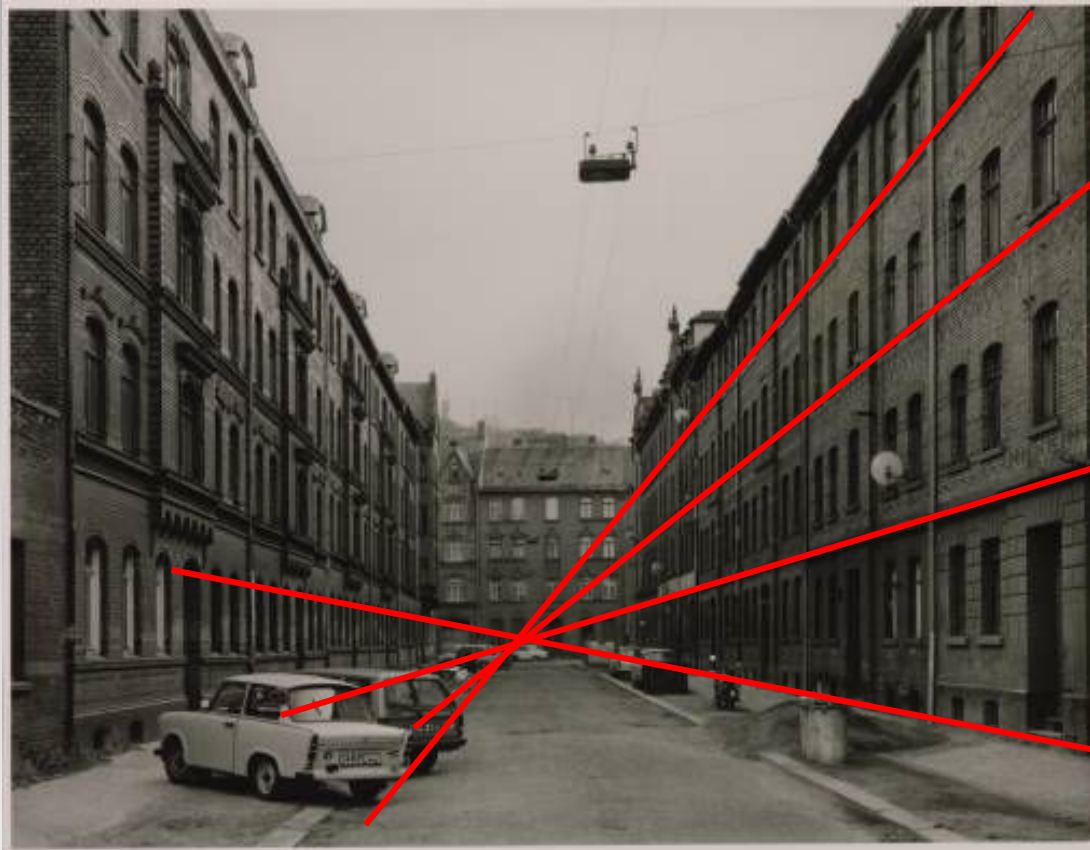


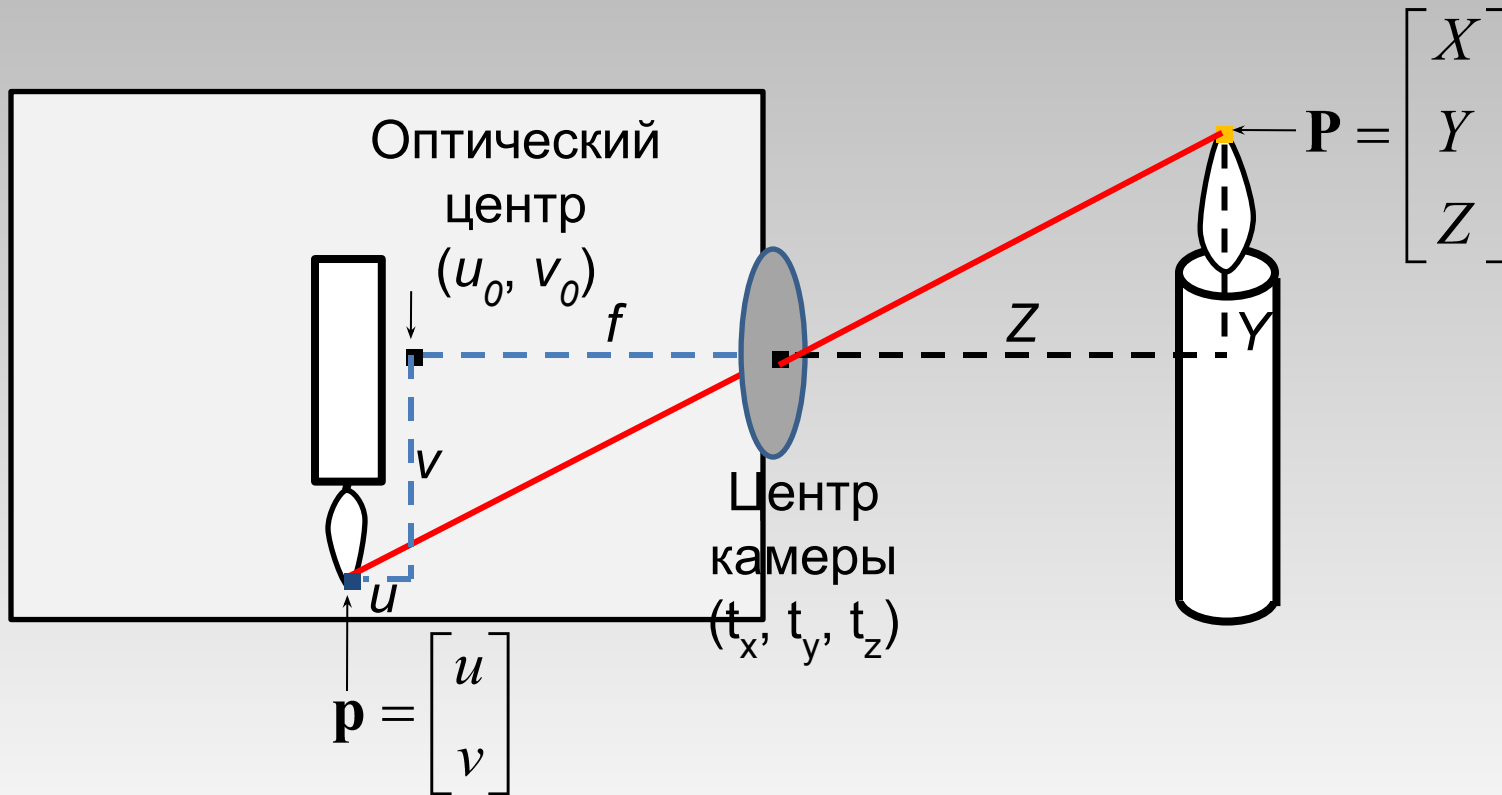
Photo from online Tate collection





# Линия горизонта







## Преобразование к однородным координатам

$$(x, y) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Однородные  
экранные координаты

$$(x, y, z) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Однородные  
мировые координаты

## Преобразование ИЗ однородных координат

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w, z/w)$$



## Инвариантность к масштабу

$$k \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kx \\ ky \\ kw \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \frac{kx}{kw} \\ \frac{ky}{kw} \\ \frac{kw}{kw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x}{w} \\ \frac{y}{w} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Однородные  
координаты

Декартовы  
координаты

Точке в декартовых координатах  
соответствует луч в однородных



- Уравнение прямой:

$$ax + by + c = 0$$

$$line_i = \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix}$$

- Добавить «1» для перехода в однородные координаты

$$p_i = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Прямая получается как векторное произведение двух точек

$$line_{ij} = p_i \times p_j$$

- Пересечение прямых получается как векторное произведение прямых

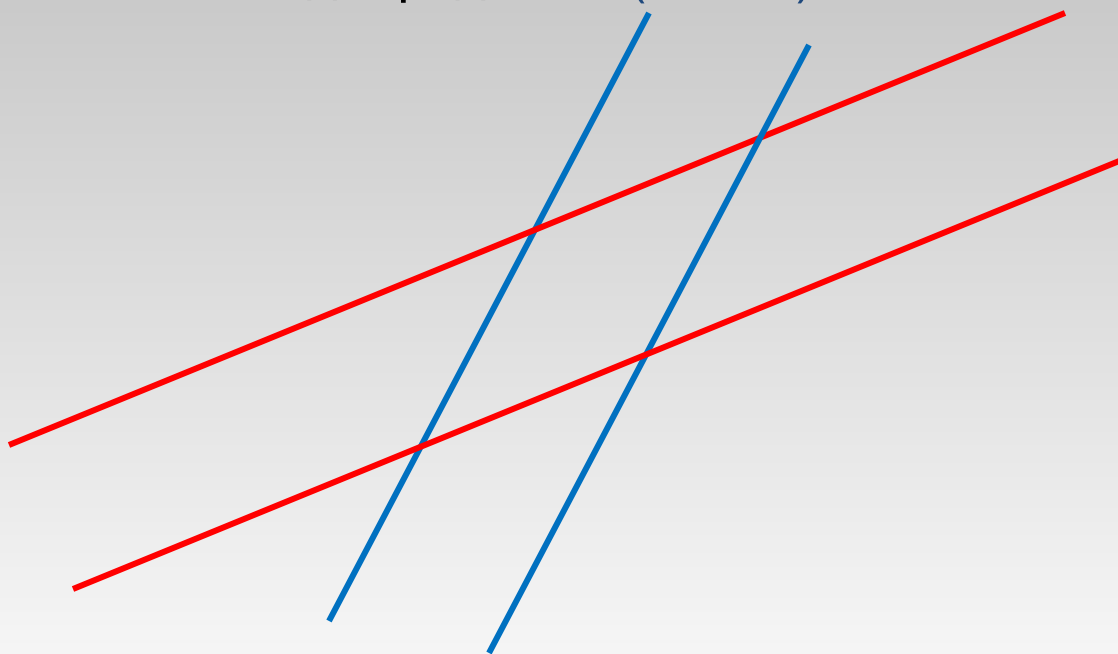
$$q_{ij} = line_i \times line_j$$



## Пересечение параллельных прямых

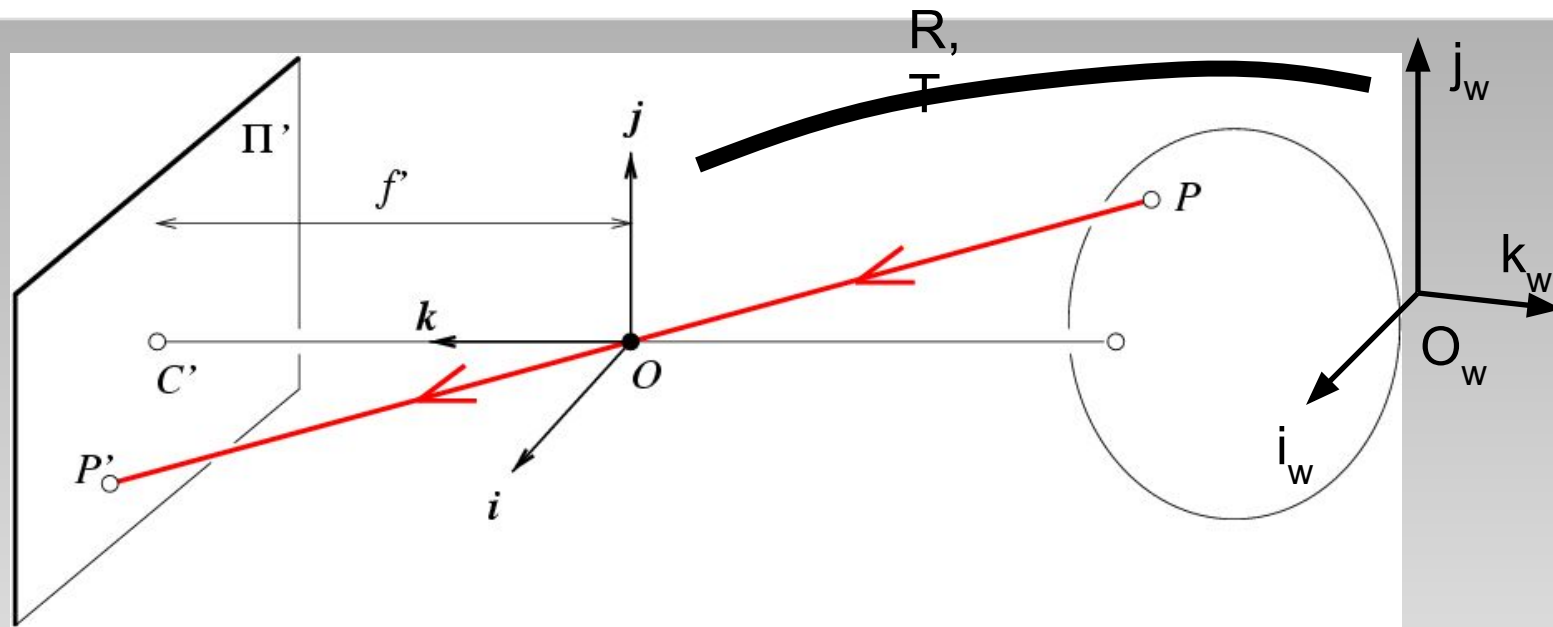
Декартовы:  $(\text{Inf}, \text{Inf})$   
Однородные:  $(1, 1, 0)$

Декартовы:  $(\text{Inf}, \text{Inf})$   
Однородные:  $(1, 2, 0)$





# Матрица проекции



$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$

$\mathbf{x}$ : Экранные координаты:  $(u, v, 1)$

$\mathbf{K}$ : Внутренняя матрица  $(3 \times 3)$

$\mathbf{R}$ : Вращение  $(3 \times 3)$

$\mathbf{t}$ : Перенос  $(3 \times 1)$

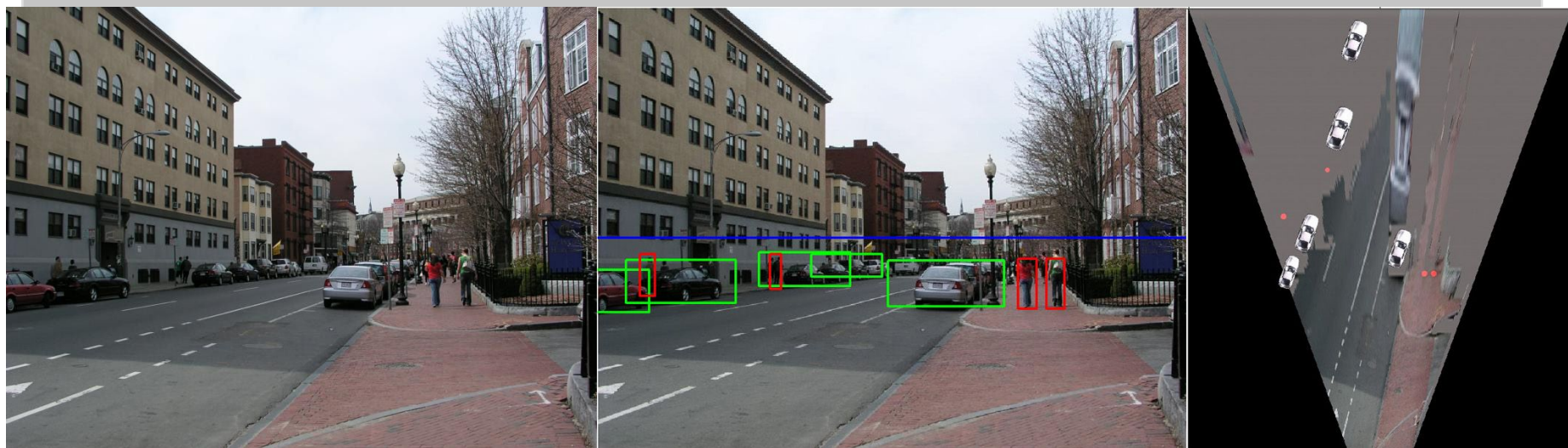
$\mathbf{X}$ : Мировые координаты:  $(X, Y, Z, 1)$

# Соотнесение множества видов





# Распознавание объектов (CVPR 2006)



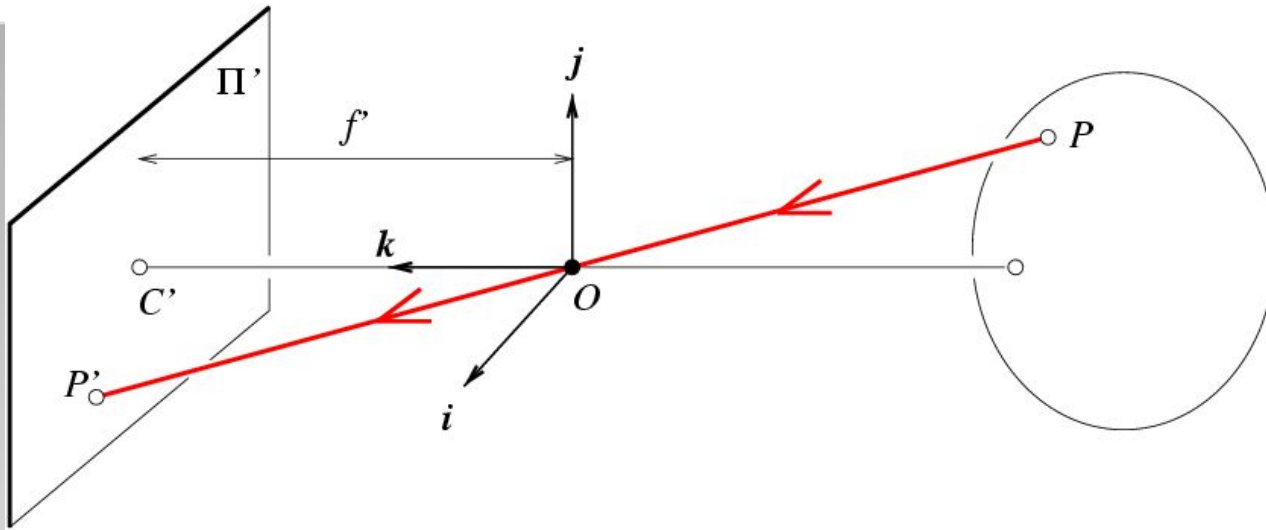
## Дополненная реальность (SIGGRAPH 2007)



Оригинал



Дополнение



## Внутренние допущения

- Единичное соотношение
- Оптический центр в (0,0)
- Нет перекоса

## Внешние допущения

- Нет поворота
- Камера в (0,0,0)

**K**

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{X} \Rightarrow {}^w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

## Внутренние допущения      Внешние допущения

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Единичное соотношение</li> <li>• Нет перекоса</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Нет поворота</li> <li>• Камера в (0,0,0)</li> </ul> |
|---|--|

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{X} \quad \rightarrow \quad w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Внутренние допущения      Внешние допущения

- Нет перекоса

- Нет поворота
- Камера в (0,0,0)

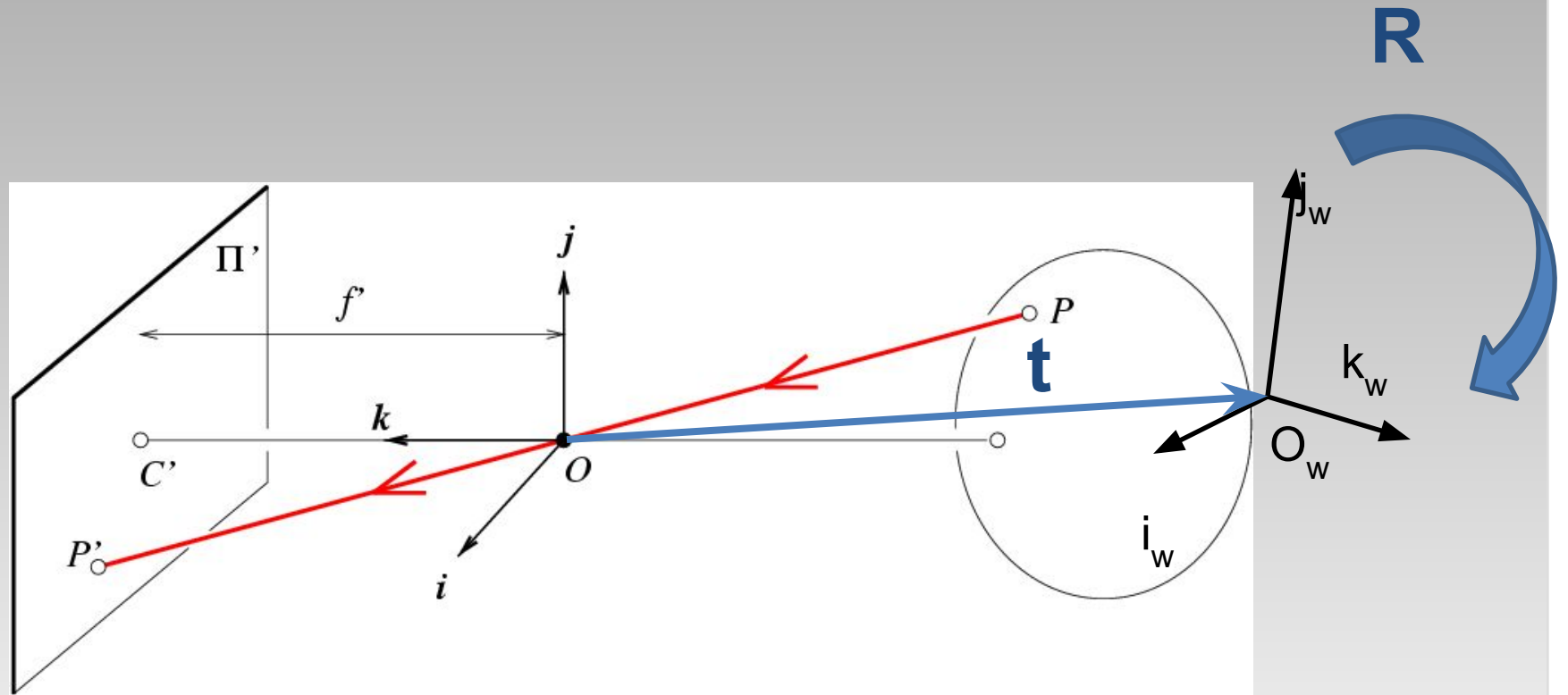
$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{X} \quad \Rightarrow \quad w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \beta & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Внутренние допущения    Внешние допущения

- Нет поворота
- Камера в (0,0,0)

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{X} \rightarrow w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Note: different books use different notation for



Внутренние допущения    Внешние допущения

- Нет поворота

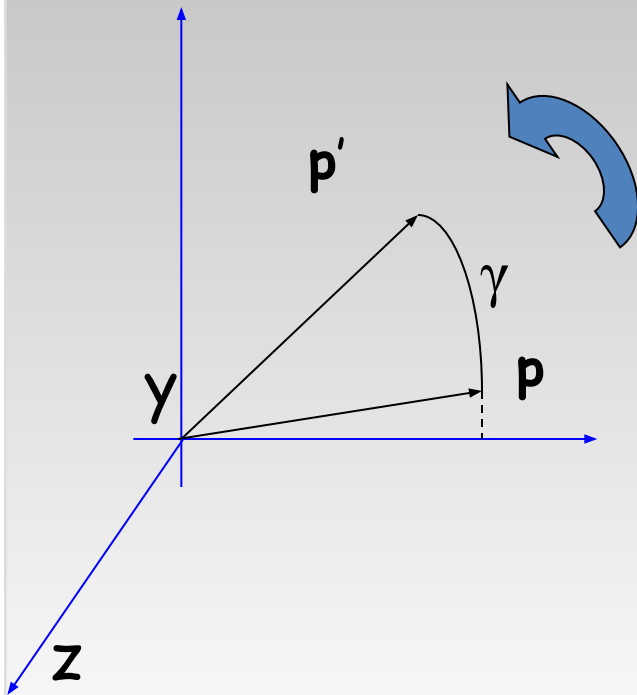
$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X} \quad \Rightarrow \quad w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$





## Трёхмерный поворот точек

Поворот вокруг координатных осей, **ПРОТИВ ЧАС.СТРЕЛКИ**:



$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$



$$w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$



$$w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{matrix} 5 \\ \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 6 \\ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$



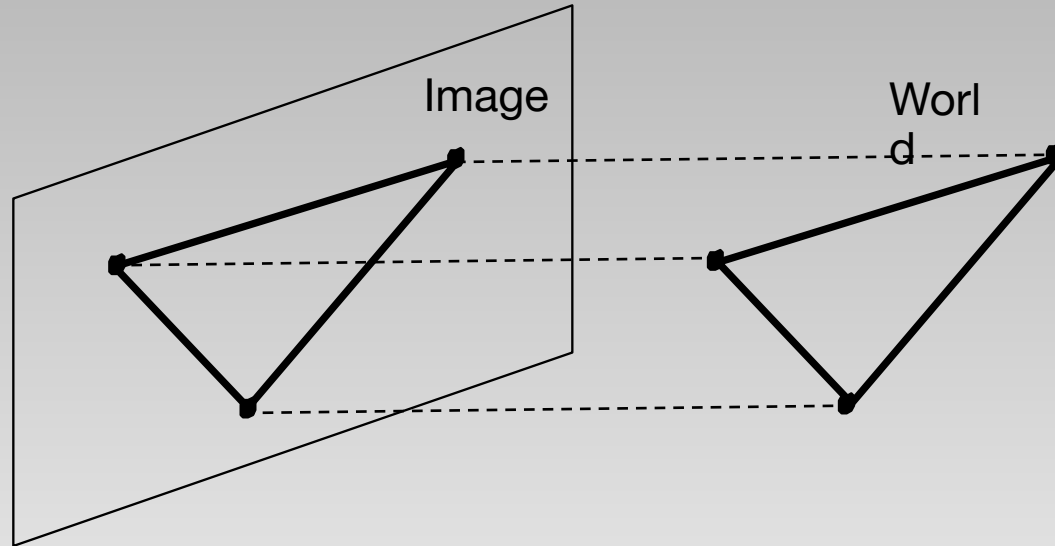
# Vanishing Point = Projection from

Infinity

$$\mathbf{p} = \mathbf{K}[\mathbf{R} \quad \mathbf{t}] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{p} = \mathbf{KR} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{p} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \end{bmatrix}$$

$$w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} u &= \frac{fx_R}{z_R} + u_0 \\ v &= \frac{fy_R}{z_R} + v_0 \end{aligned}$$

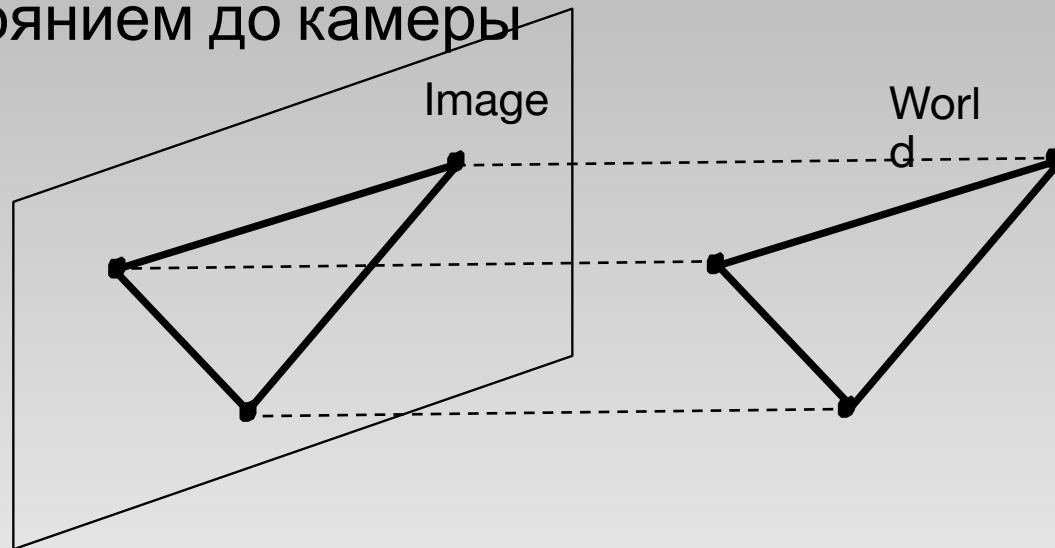
- Особый случай перспективной проекции



- Также называется параллельной проекцией
- Какова матрица проекции?

$$w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Особый случай перспективной проекции
  - Размеры объектов малы по сравнению с расстоянием до камеры

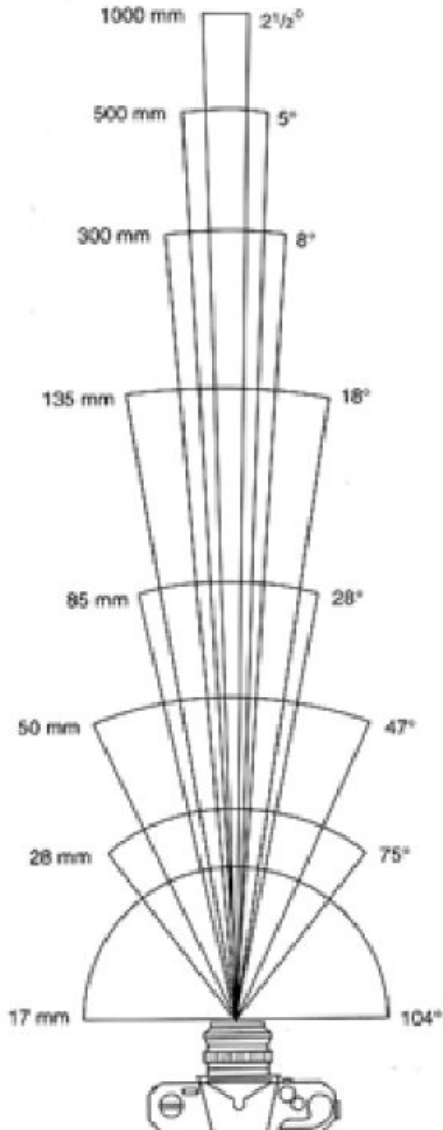


- Также называется «моделью слабой перспективы»
- Какова матрица проекции?

$$w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$



# Поле зрения (зум, фокусное расстояние)



17mm



28mm



50mm



85mm

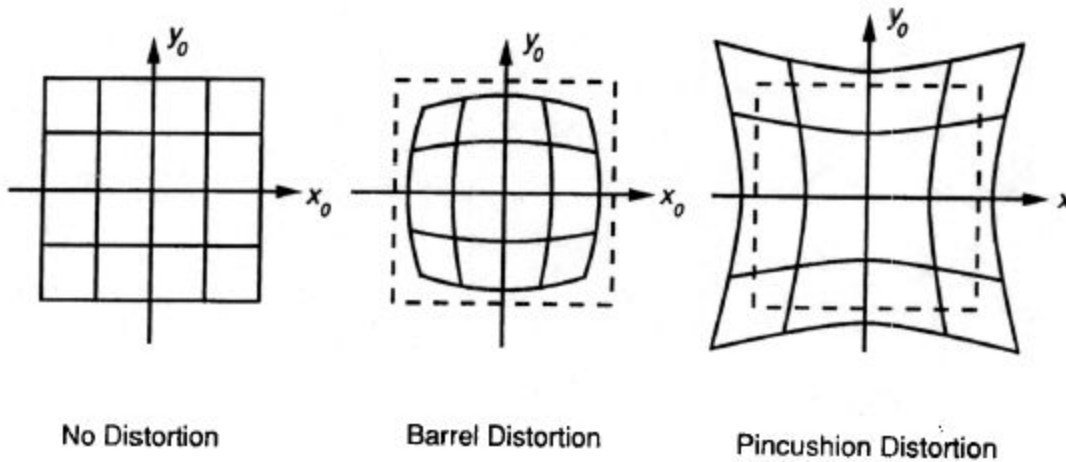
**From London and Upton**

Suppose we have two 3D cubes on the ground facing the viewer, one near, one far.

1. What would they look like in perspective?
2. What would they look like in weak perspective?

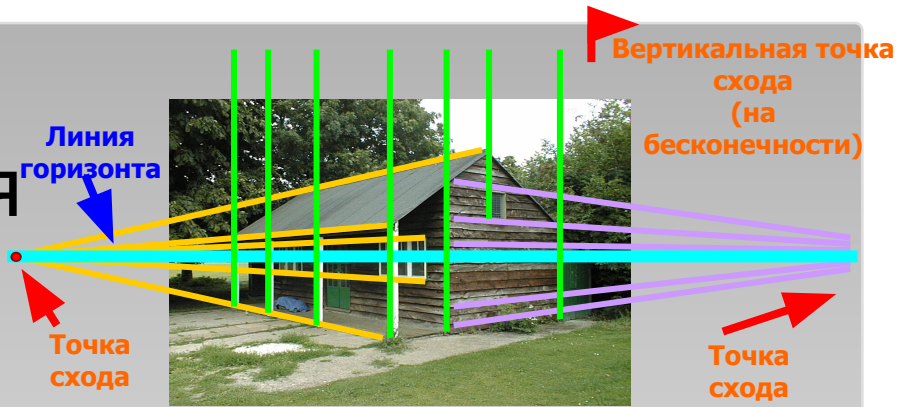




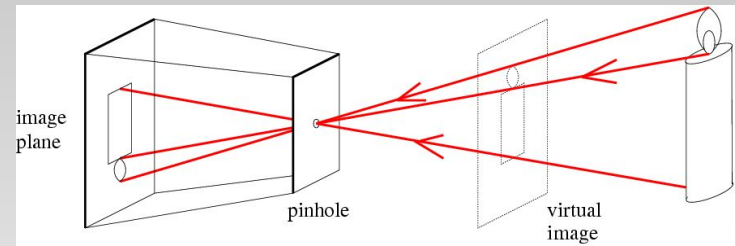


Коррекция дисторсии  
(undistort)

- Точки схода и линия горизонта



- Модель камеры обскуры и матрица проекции



$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$

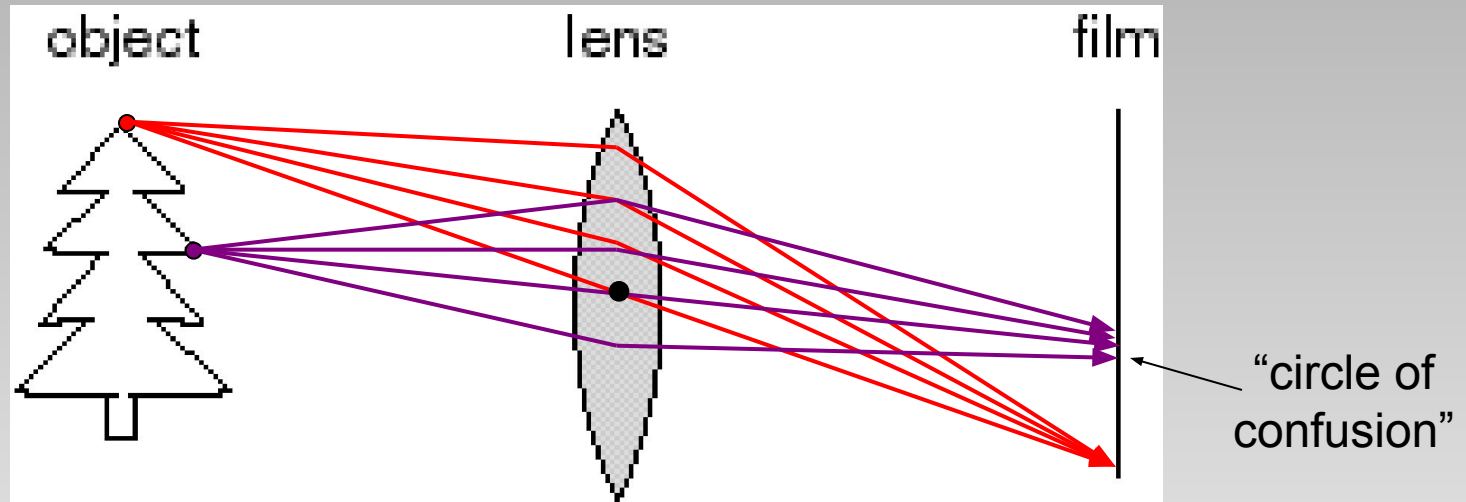
- Однородные координаты

$$(x, y) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Сделать из «зеркалки» камеру обскура
- Измерить угол зрения камеры

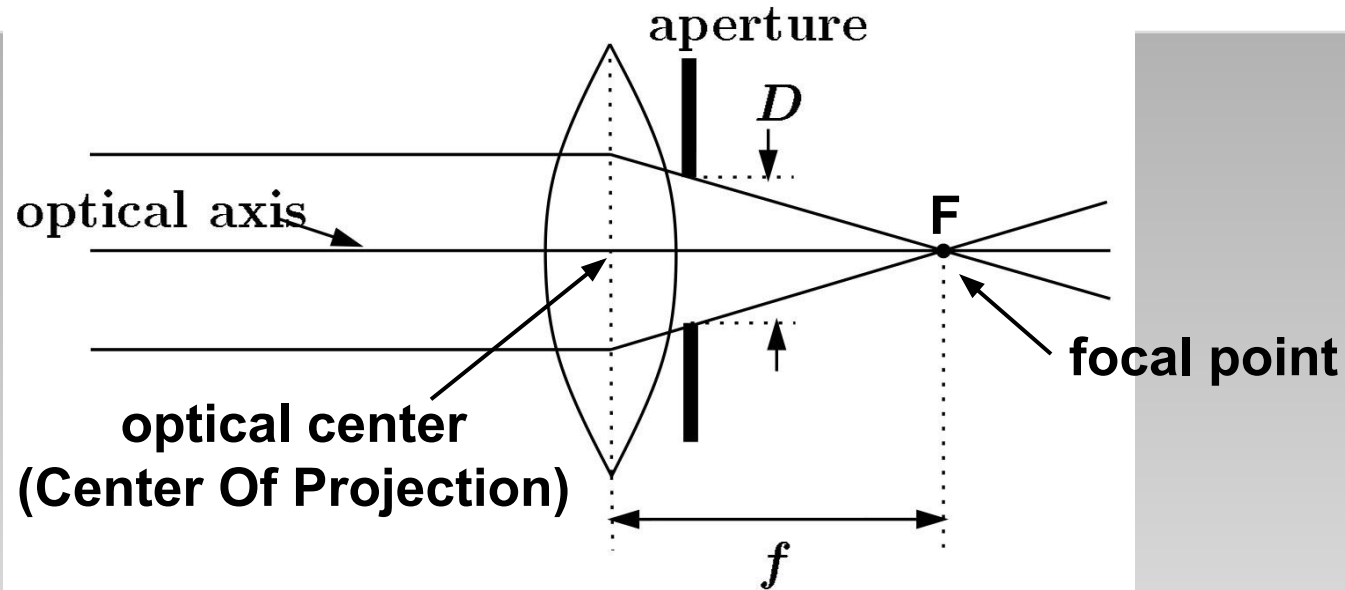


# Adding a lens



- A lens focuses light onto the film
  - There is a specific distance at which objects are “in focus”
    - other points project to a “circle of confusion” in the image

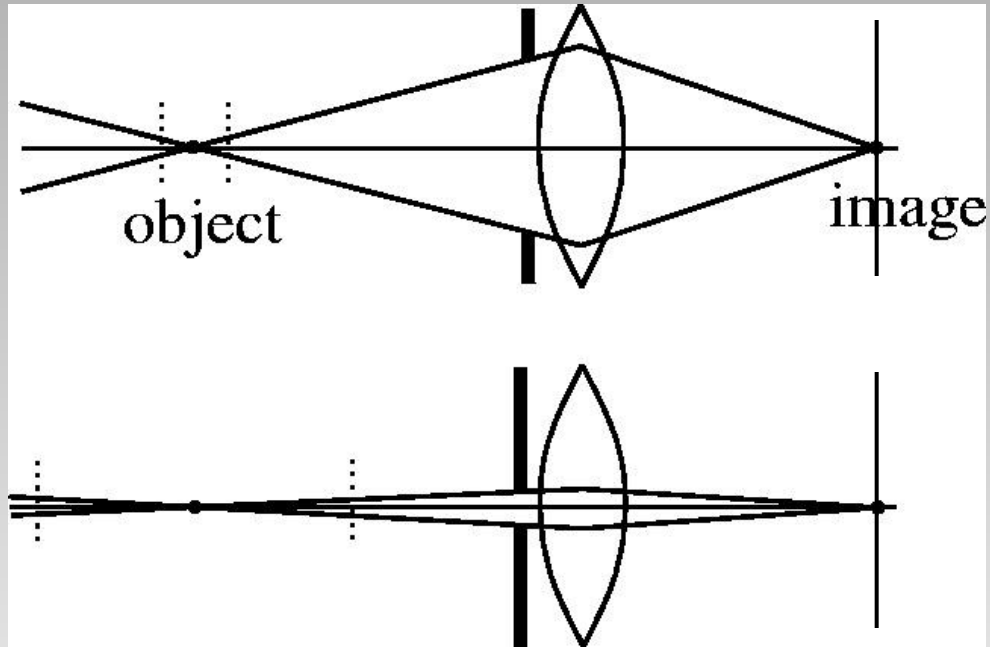
# Focal length, aperture, depth of



- A lens focuses parallel rays onto a single focal point
  - focal point at a distance  $f$  beyond the plane of the lens
  - Aperture of diameter  $D$  restricts the range of rays



# Depth of field



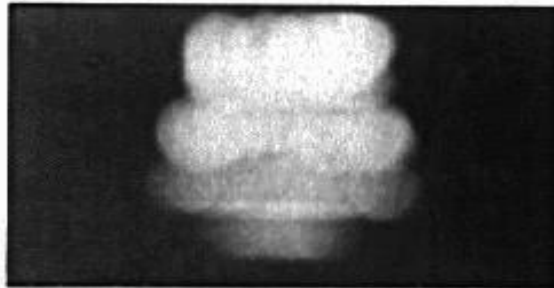
$f / 5.6$



$f / 32$

- Changing the aperture size or focal length affects depth of field

# Shrinking the aperture



2 mm



1 mm



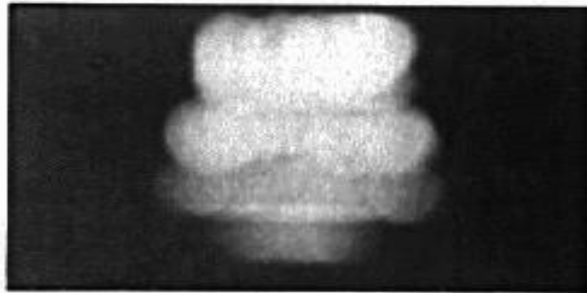
0.6mm



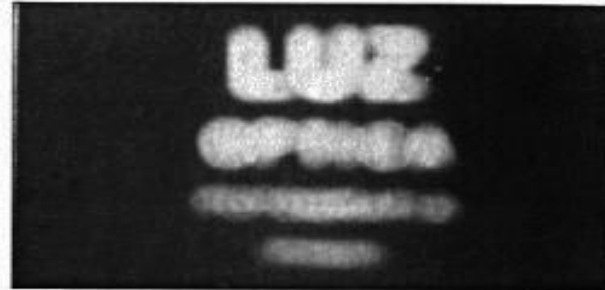
0.35 mm

- Why not make the aperture as small as possible?
  - Less light gets through

# Shrinking the aperture



2 mm



1 mm



0.6mm



0.35 mm



0.15 mm

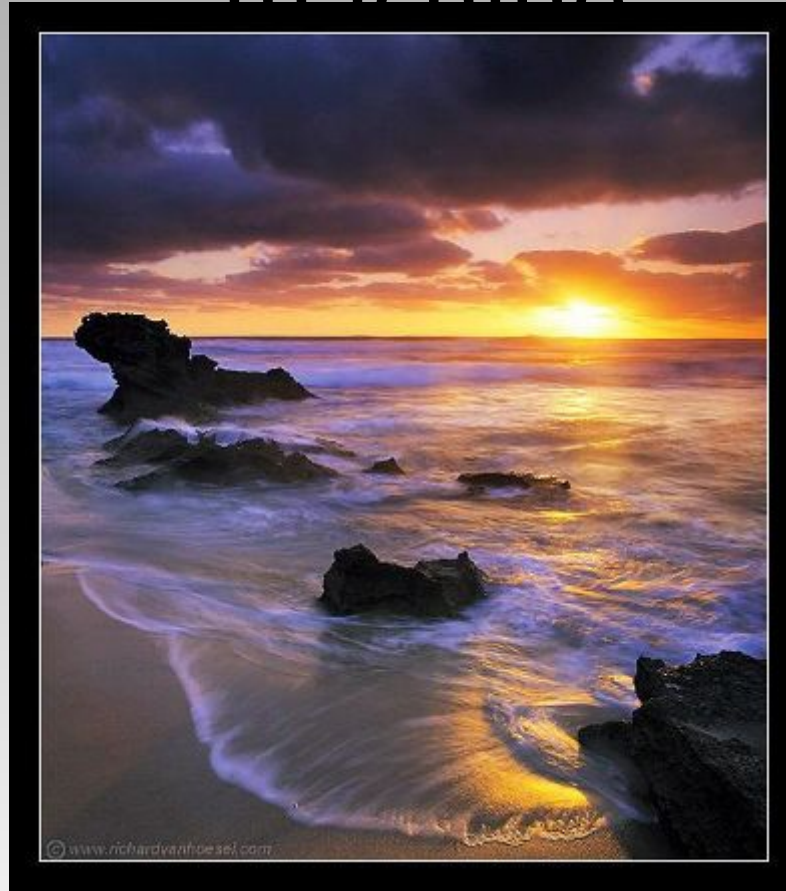


0.07 mm





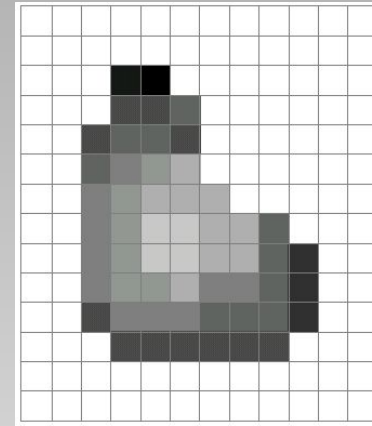
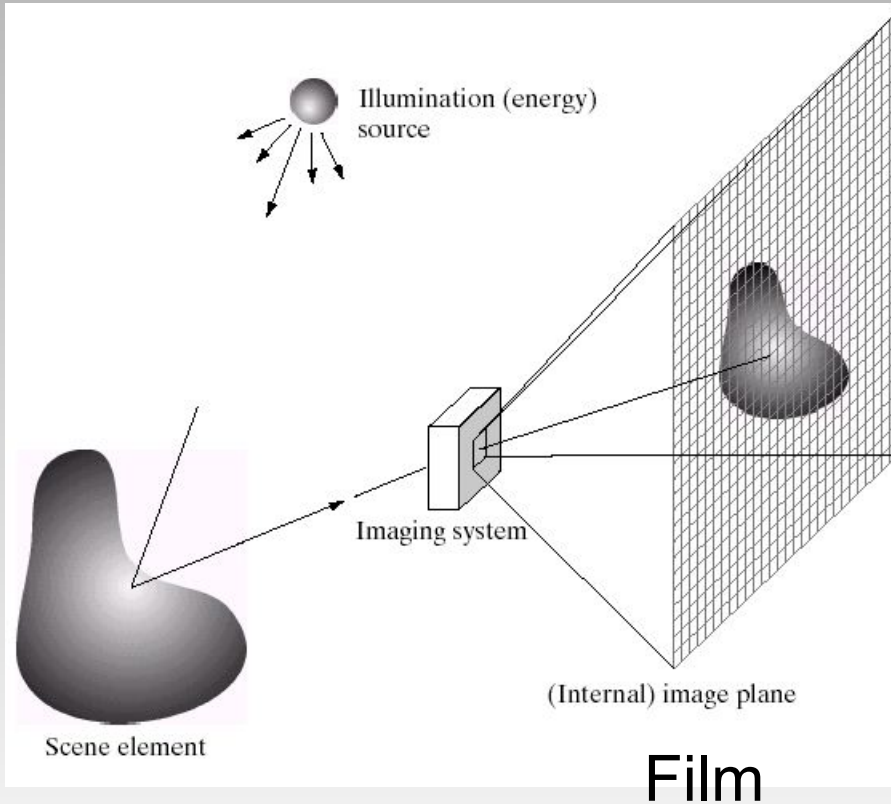
# Capturing Light... in man and machine



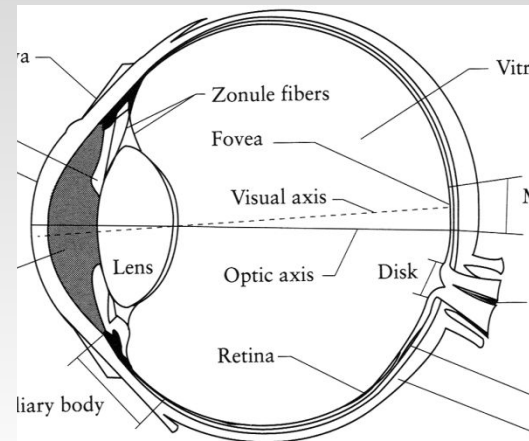
Many slides by  
Alexei A. Efros

CS 143: Computer Vision  
James Hays, Brown, Fall 2013

# Image Formation



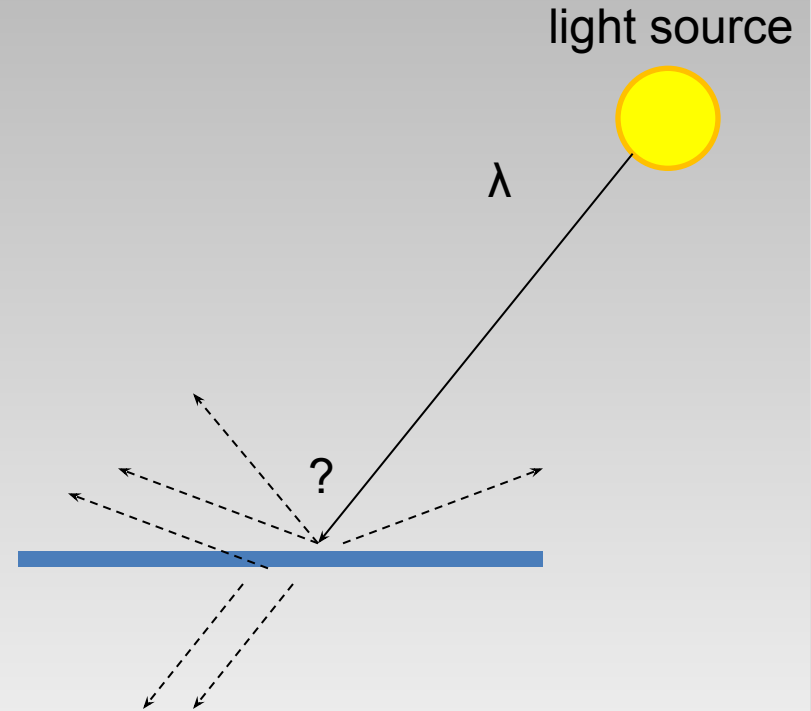
Digital Camera



The Eye

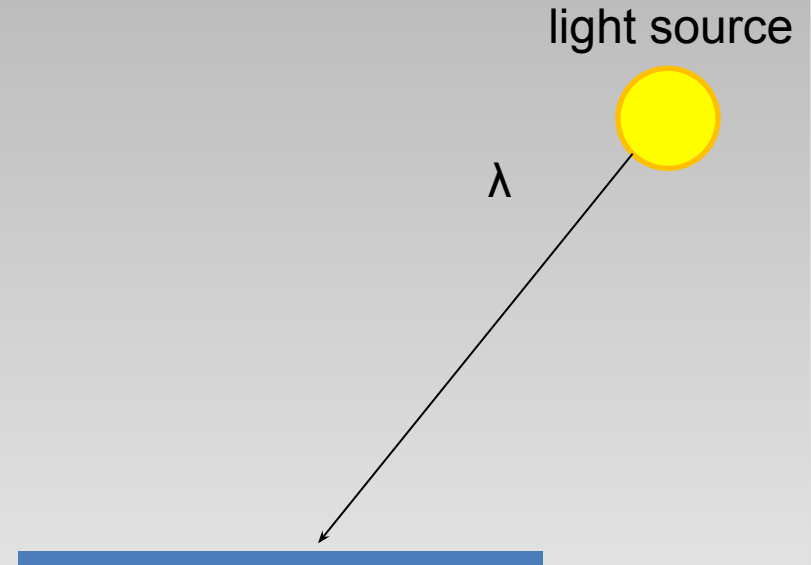
# A photon's life choices

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- Interreflection



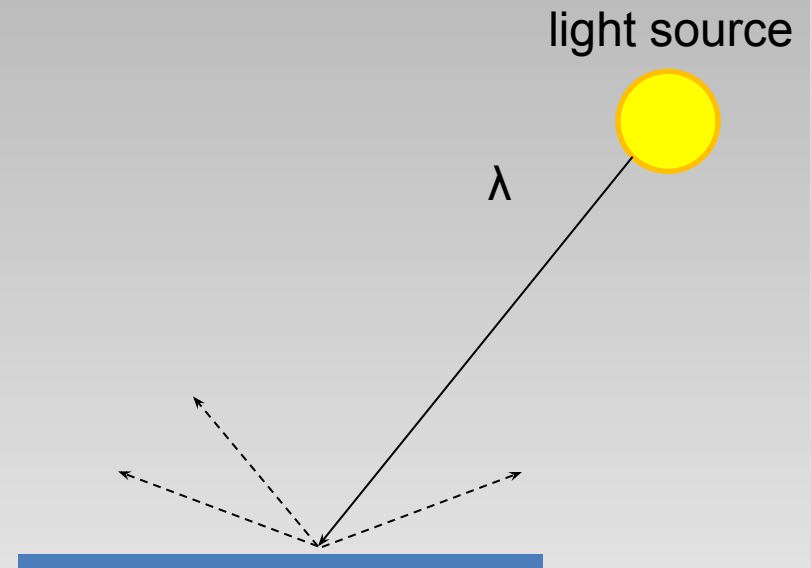
# A photon's life choices

- **Absorption**
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- Interreflection



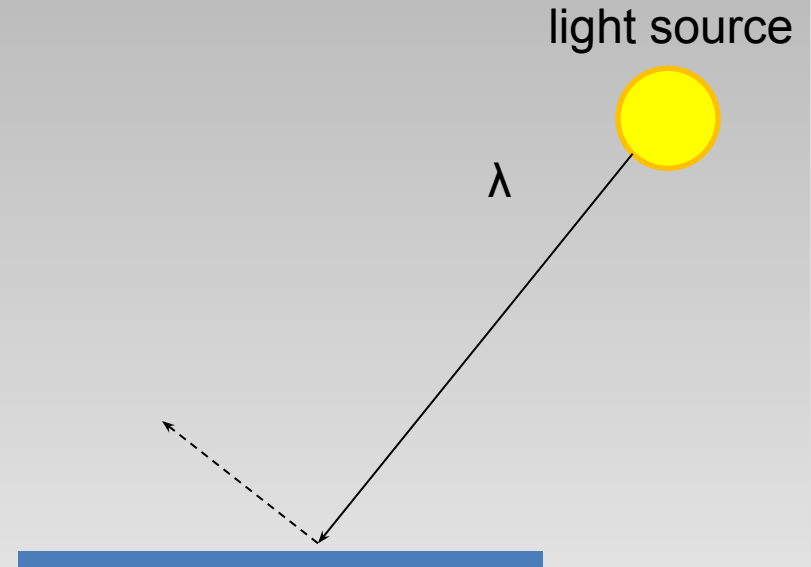
# A photon's life choices

- Absorption
- **Diffuse Reflection**
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- Interreflection



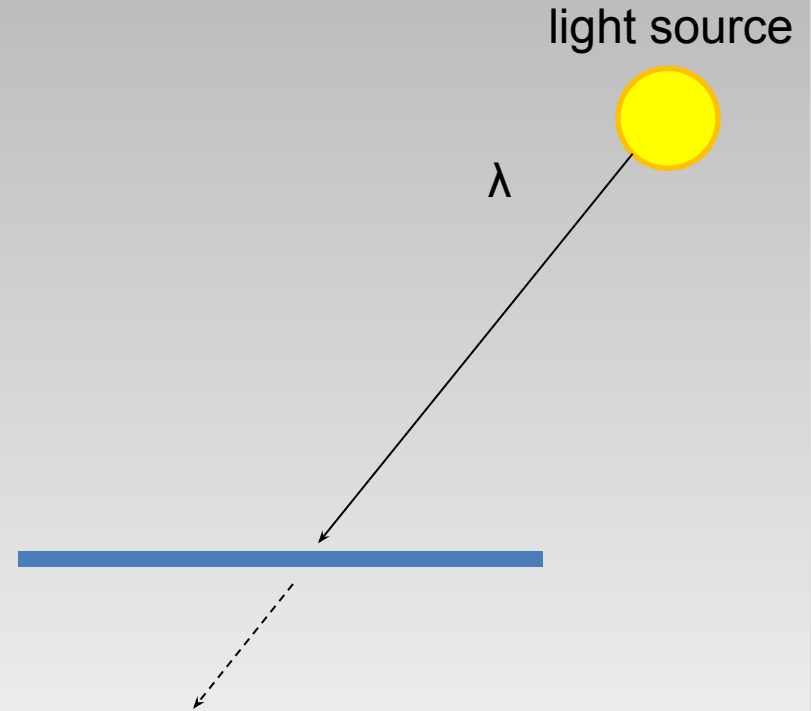
# A photon's life choices

- Absorption
- Diffusion
- **Specular Reflection**
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- Interreflection



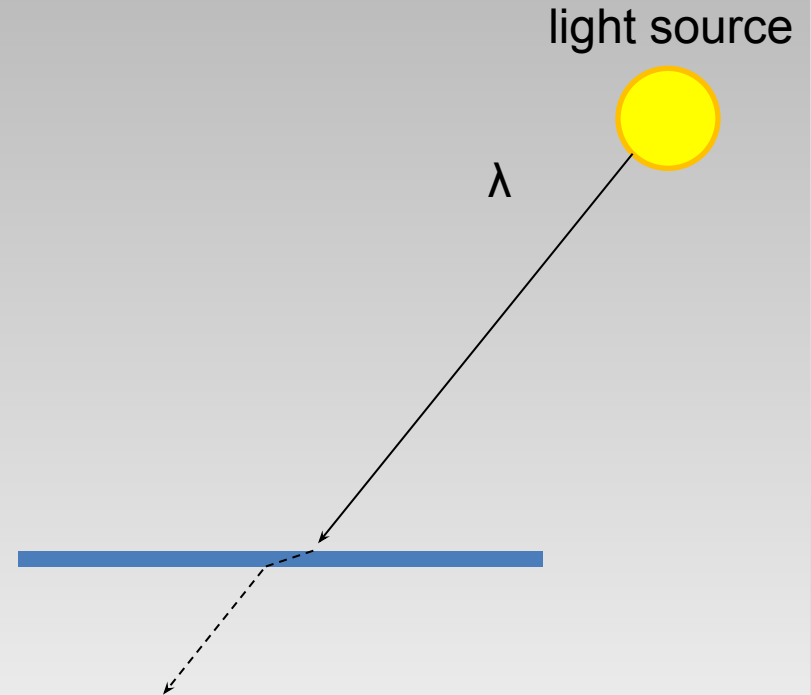
# A photon's life choices

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- **Transparency**
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- Interreflection



# A photon's life choices

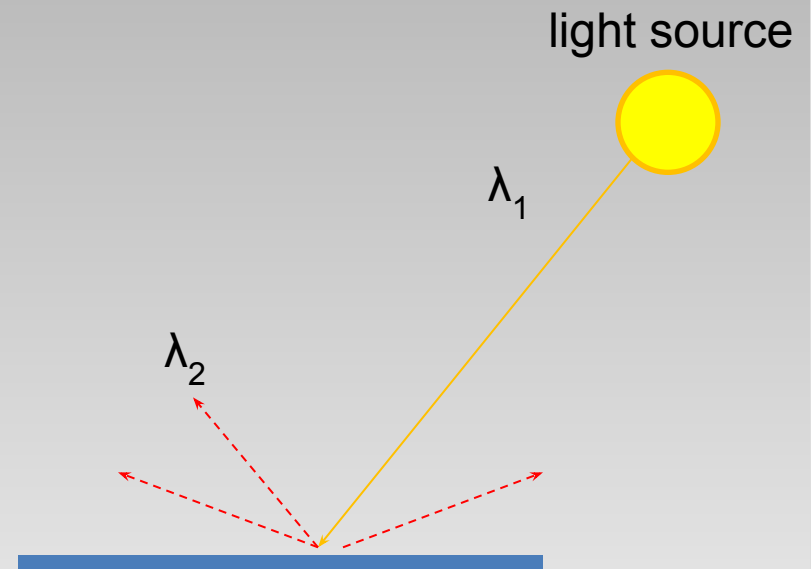
- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- **Refraction**
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- Interreflection





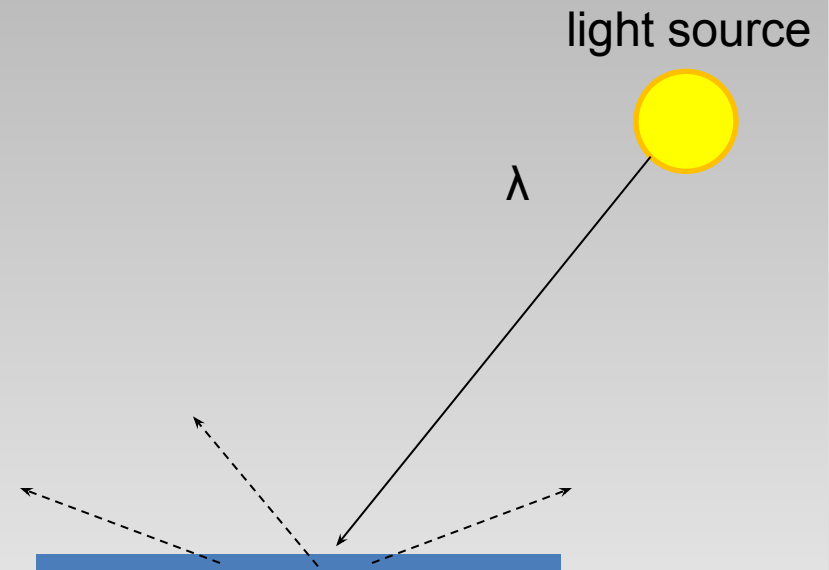
# A photon's life choices

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- **Fluorescence**
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- Interreflection



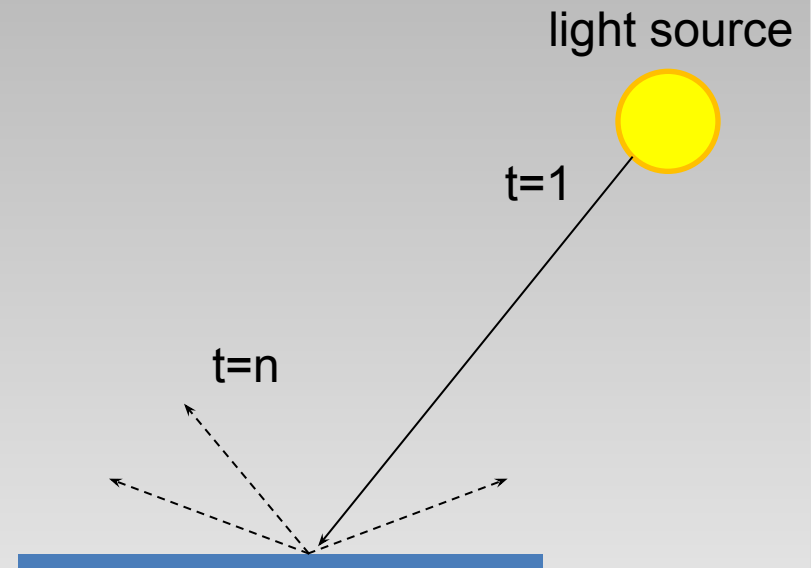
# A photon's life choices

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- **Subsurface scattering**
- Phosphorescence
- Interreflection



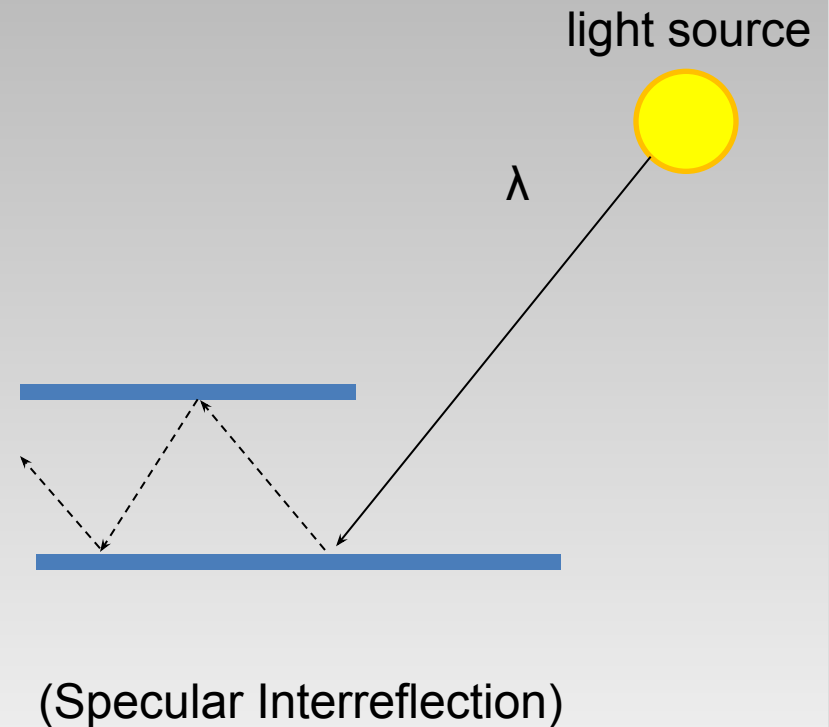
# A photon's life choices

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- **Phosphorescence**
- Interreflection



# A photon's life choices

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- Phosphorescence
- **Interreflection**

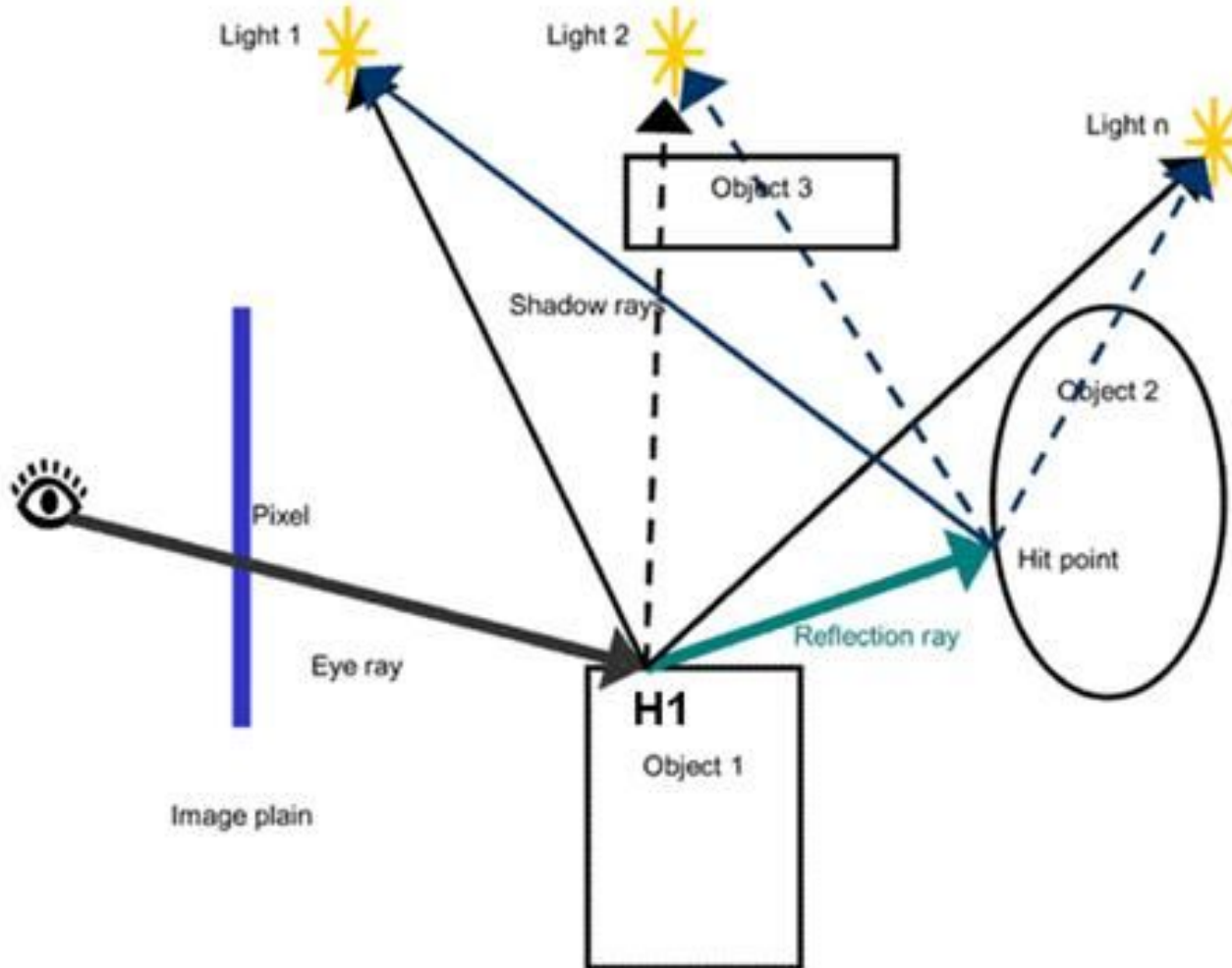




# Lambertian Reflectance

- In computer vision, surfaces are often assumed to be ideal diffuse reflectors with know dependence on viewing direction.

# Обратная трассировка лучей

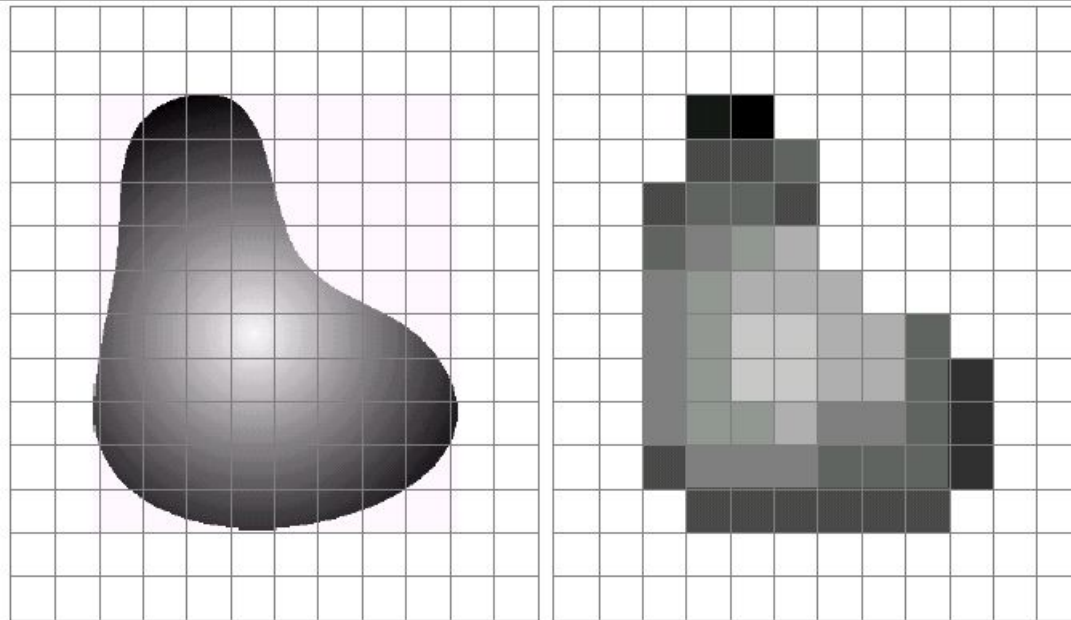


# Digital camera



- A digital camera replaces film with a sensor array
  - Each cell in the array is light-sensitive diode that converts photons to electrons
  - Two common types
    - Charge Coupled Device (CCD)
    - CMOS
  - <http://electronics.howstuffworks.com/digital-camera.htm>

# Sensor Array



a b

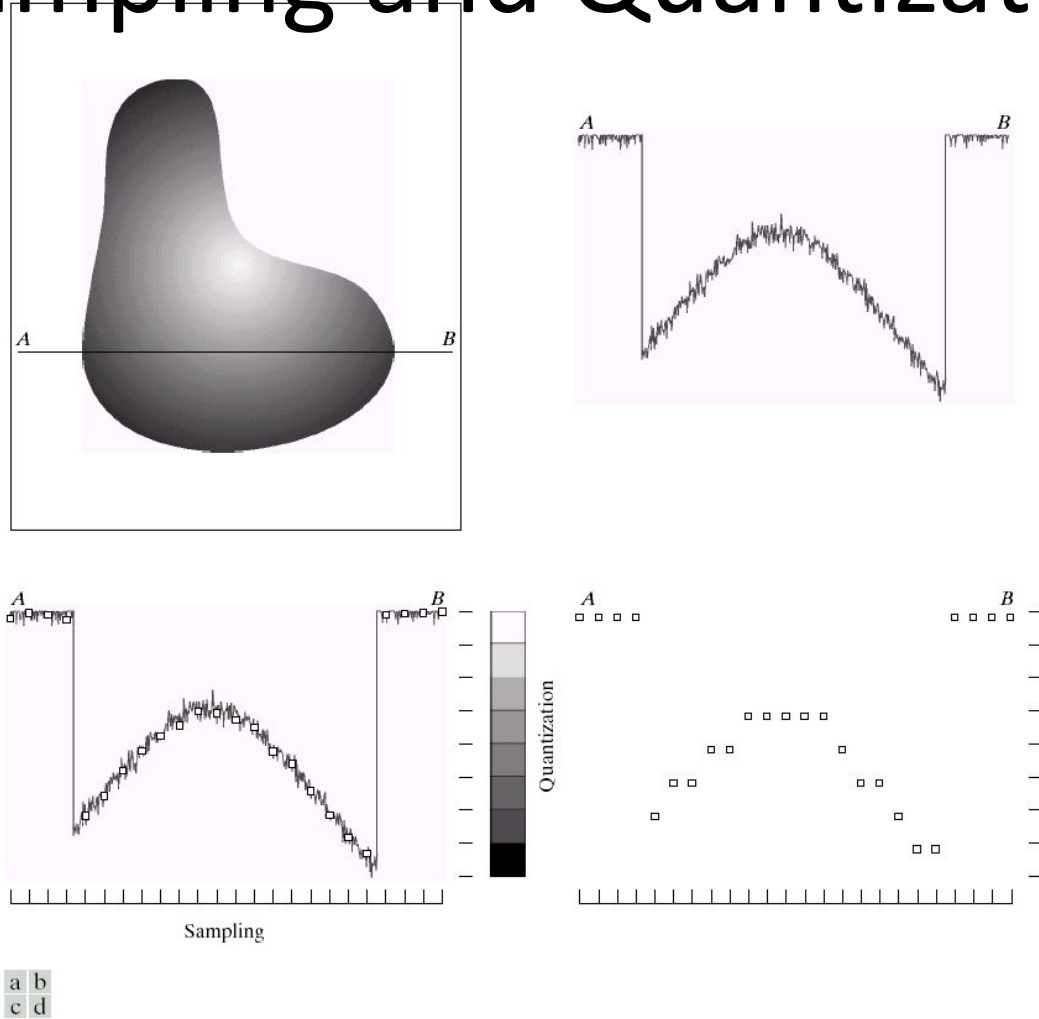
**FIGURE 2.17** (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.



CMOS sensor

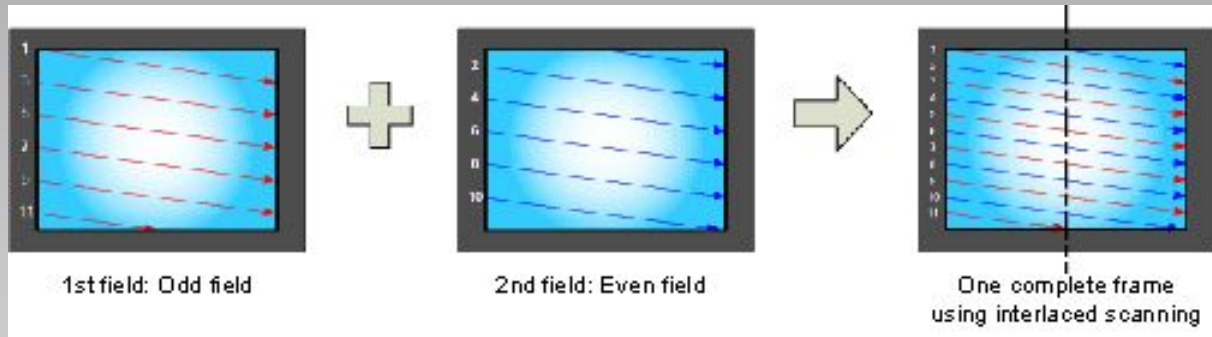


# Sampling and Quantization



**FIGURE 2.16** Generating a digital image. (a) Continuous image. (b) A scan line from *A* to *B* in the continuous image, used to illustrate the concepts of sampling and quantization. (c) Sampling and quantization. (d) Digital scan line.

# Interlace vs. progressive scan



One complete frame using progressive scanning



# Progressive scan

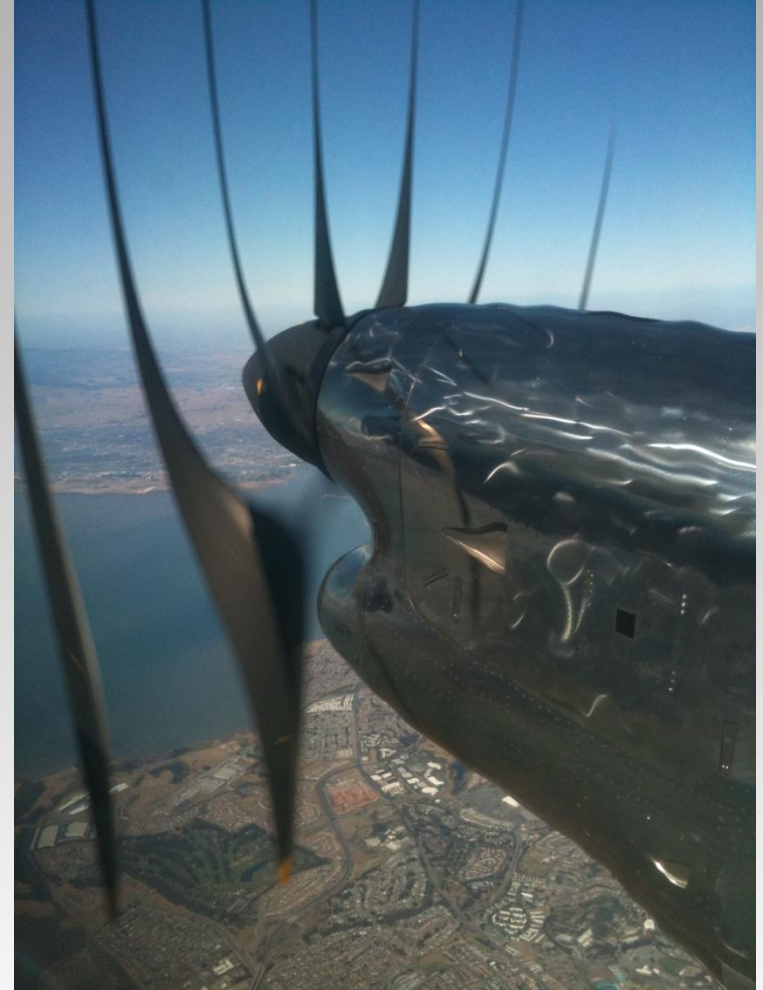




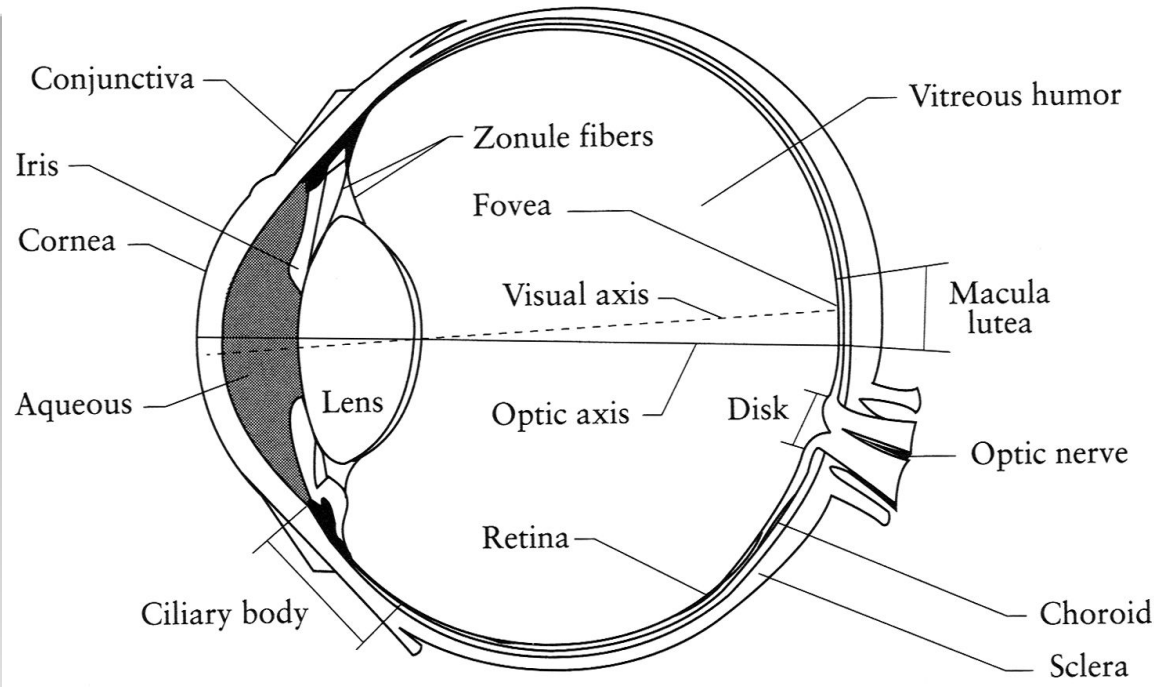
# Interlace



# Rolling Shutter

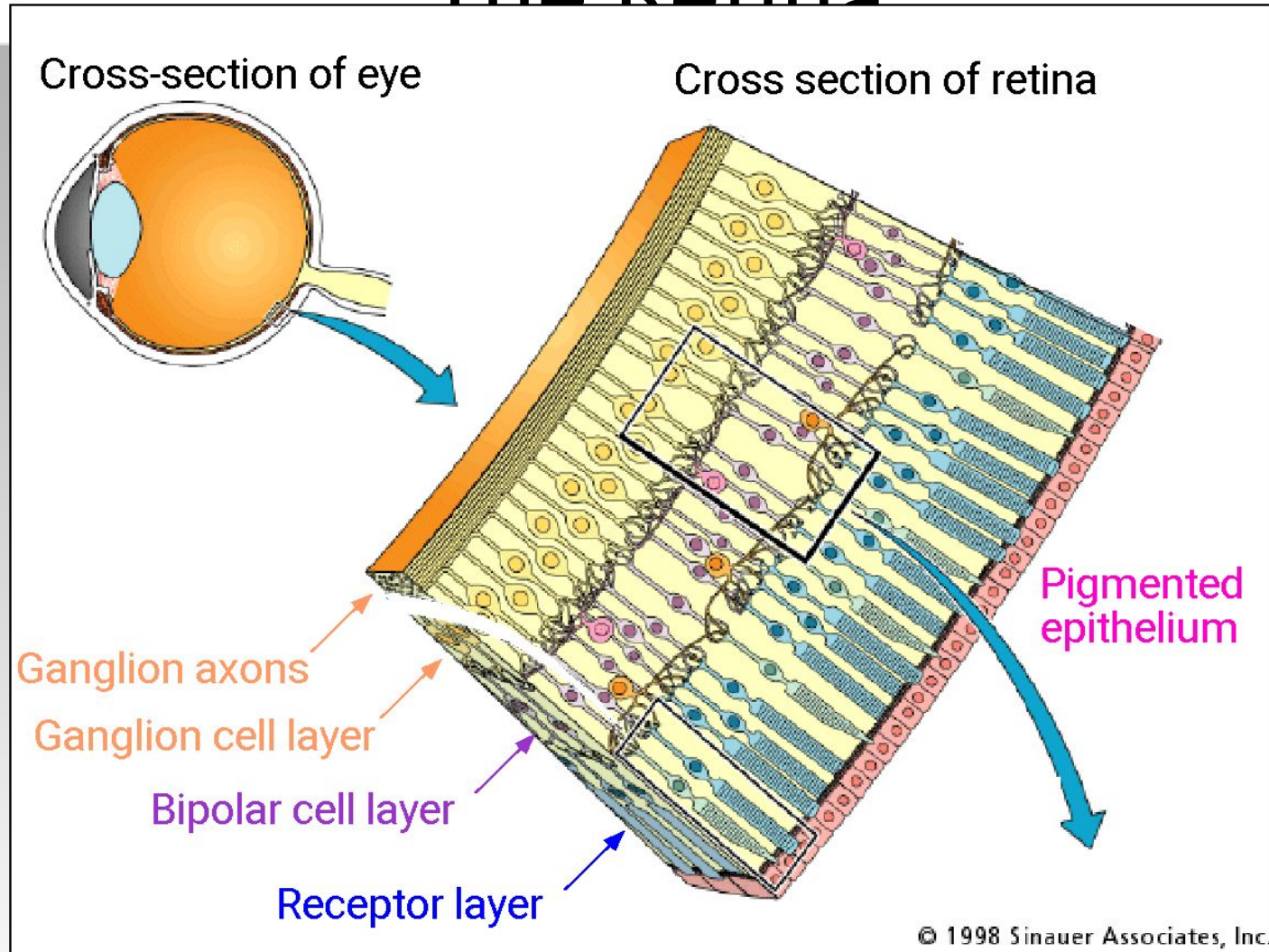


# The Eye

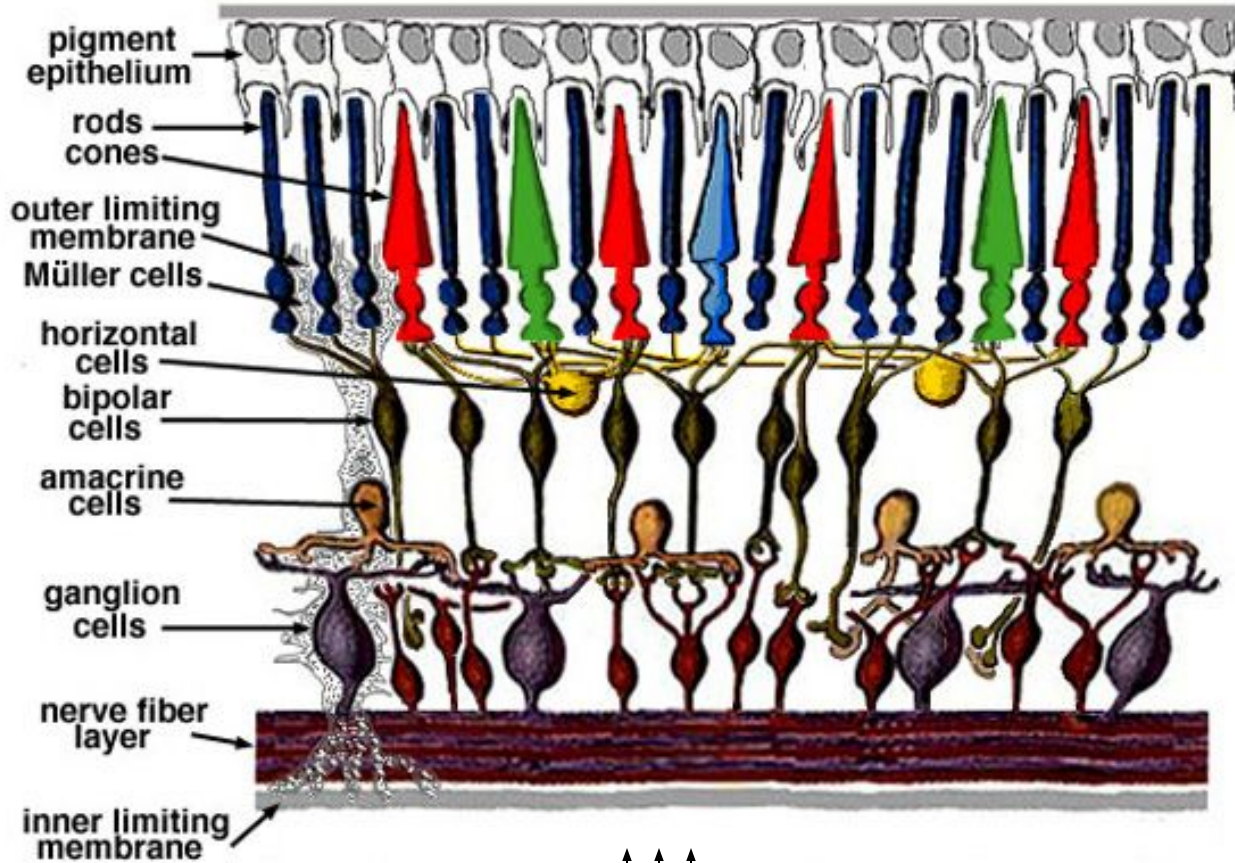


- The human eye is a camera!
  - **Iris** - colored annulus with radial muscles
  - **Pupil** - the hole (aperture) whose size is controlled by the iris
  - photoreceptor cells (rods and cones) in the **retina**
  - What's the "film"?

# The Retina



# Retina up-close



Light





# What humans don't have: tapetum lucidum





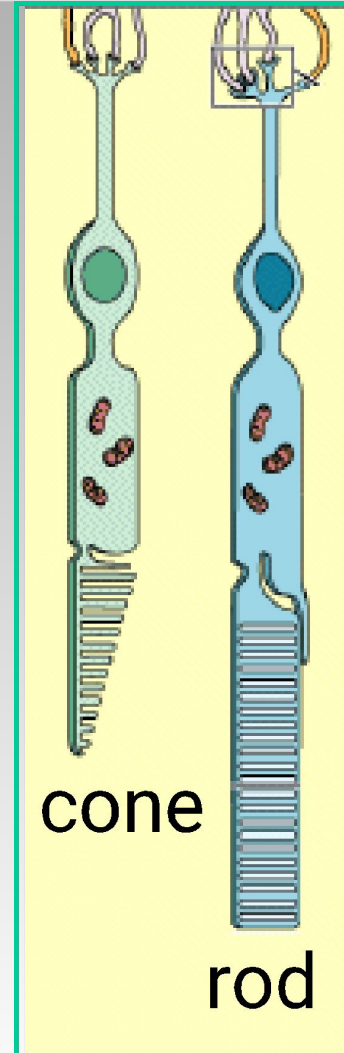
# Two types of light-sensitive receptors

## **Cones**

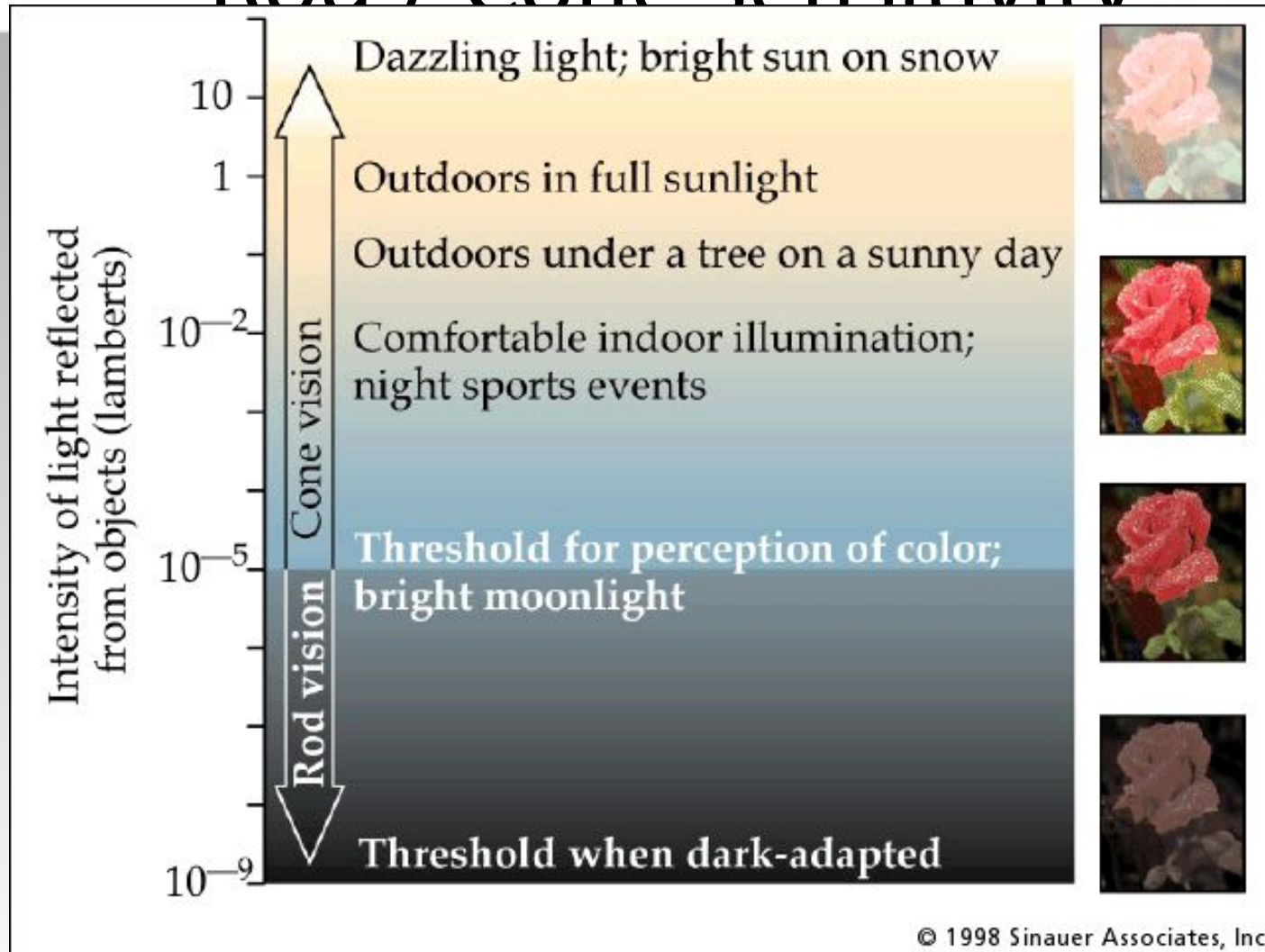
cone-shaped  
less sensitive  
operate in high  
light  
color vision

## **Rods**

rod-shaped  
highly sensitive  
operate at night  
gray-scale  
vision

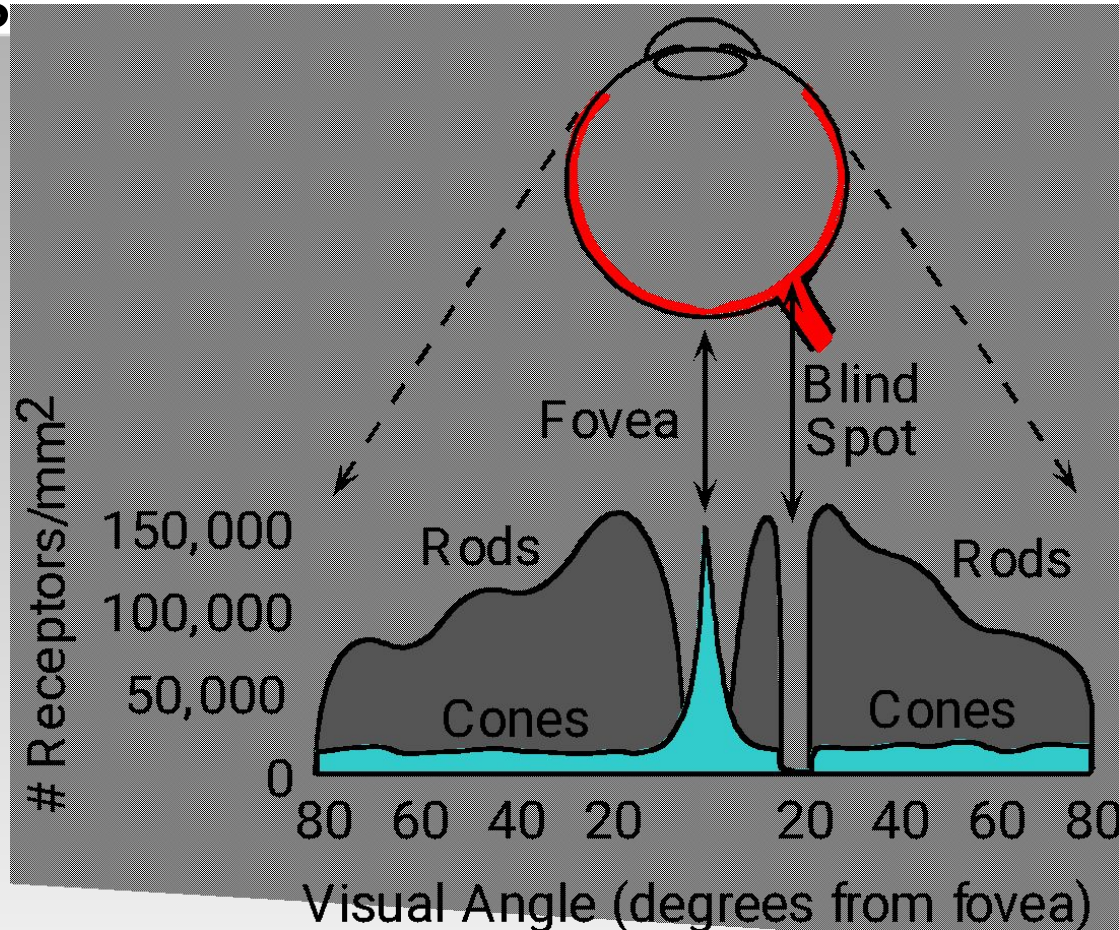


# Rod / Cone sensitivity





# Distribution of Rods and Cones



Night Sky: why are there more stars off-center?

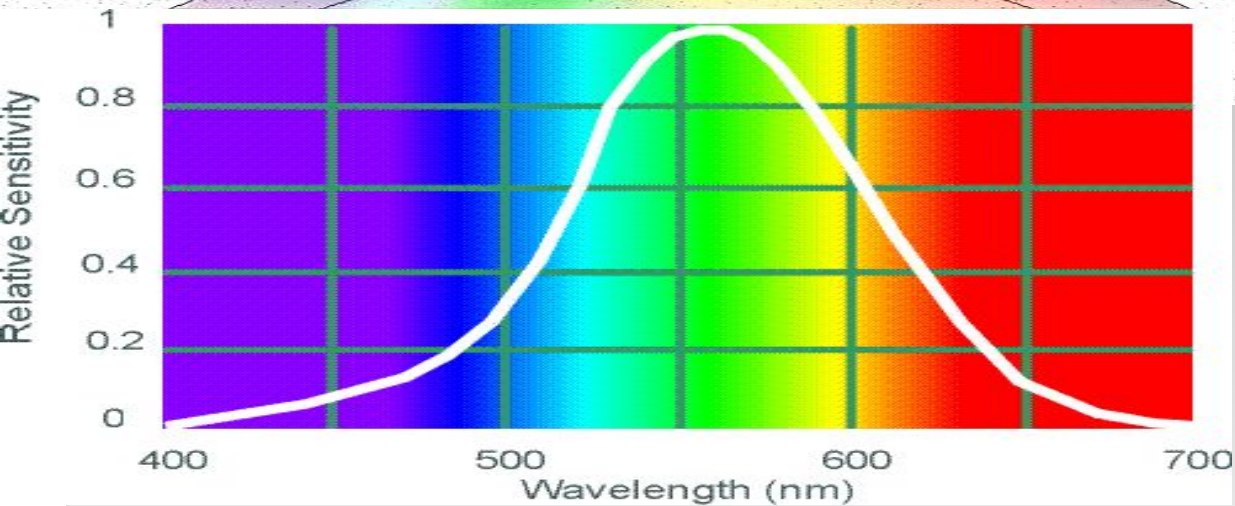
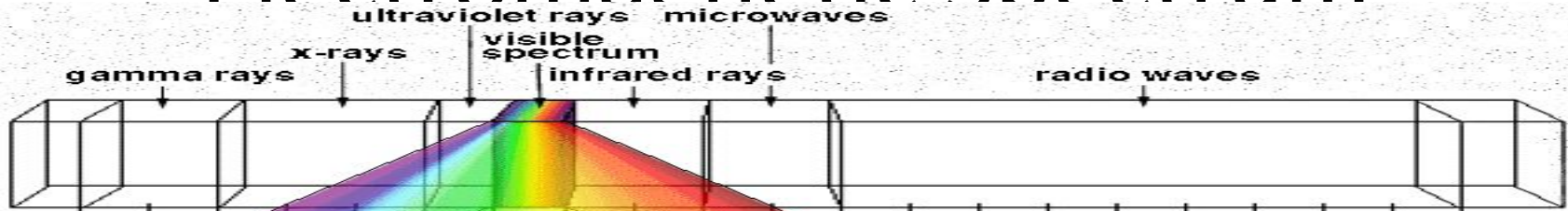
Averted vision: [http://en.wikipedia.org/wiki/Averted\\_vision](http://en.wikipedia.org/wiki/Averted_vision)



# Eye Movements

- **Saccades**
  - Can be consciously controlled. Related to perceptual attention.
  - 200ms to initiation, 20 to 200ms to carry out. Large amplitude.
- **Microsaccades**
  - Involuntary. Smaller amplitude. Especially evident during prolonged fixation. Function debated.
- **Ocular microtremor (OMT)**
  - involuntary. high frequency (up to 80Hz), small amplitude.

# Electromagnetic Spectrum

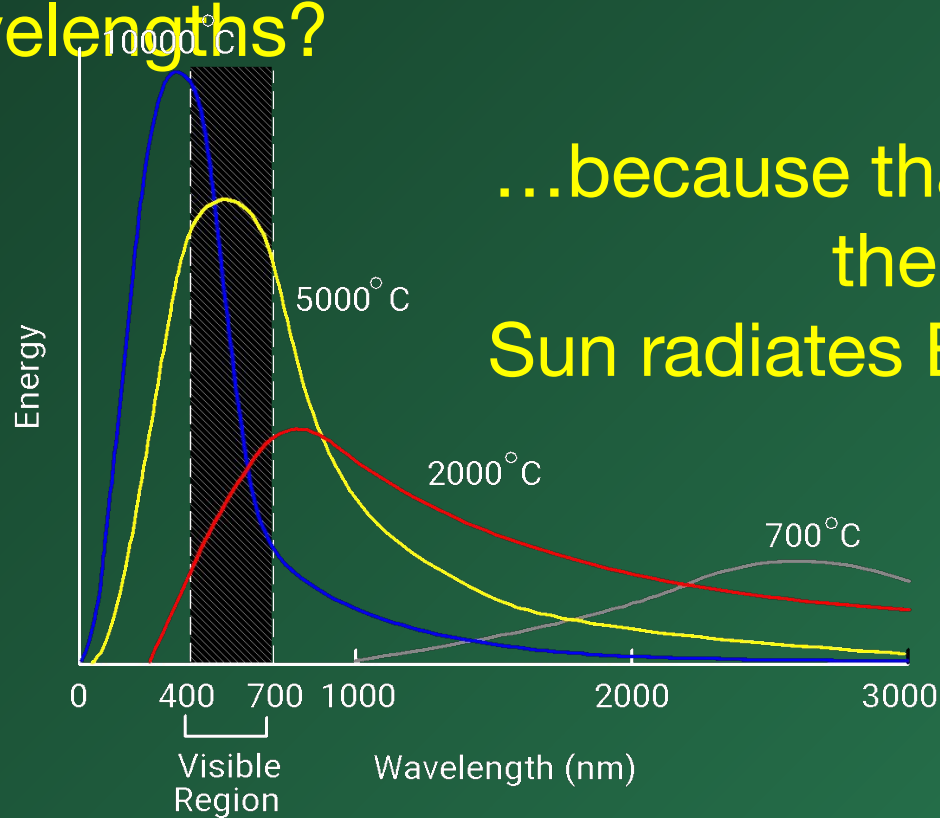


Human Luminance Sensitivity Function



# Visible Light

Why do we see light of these wavelengths?

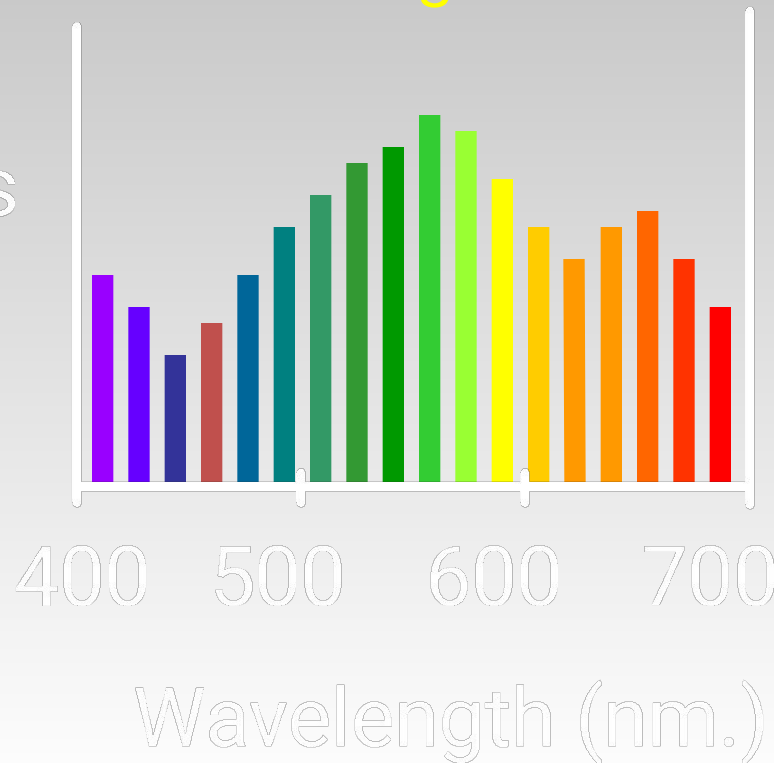


...because that's where the Sun radiates EM energy

# The Physics of Light

Any patch of light can be completely described physically by its spectrum: the number of photons (per time unit) at each wavelength 400 - 700 nm.

# Photons  
(per ms.)

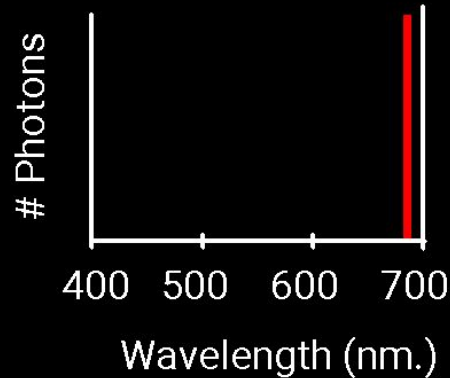




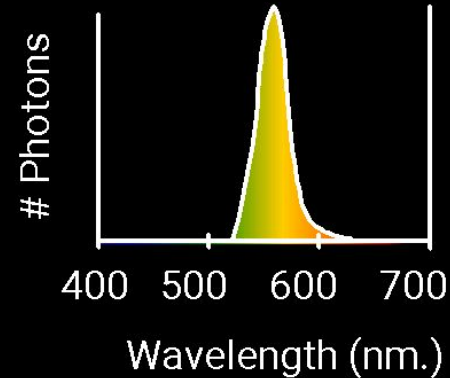
# The Physics of Light

## Some examples of the spectra of light sources

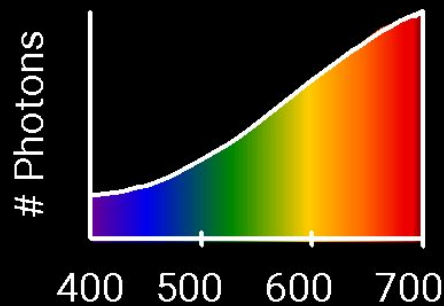
A. Ruby Laser



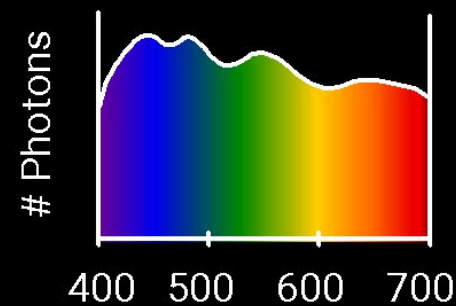
B. Gallium Phosphide Crystal



C. Tungsten Lightbulb

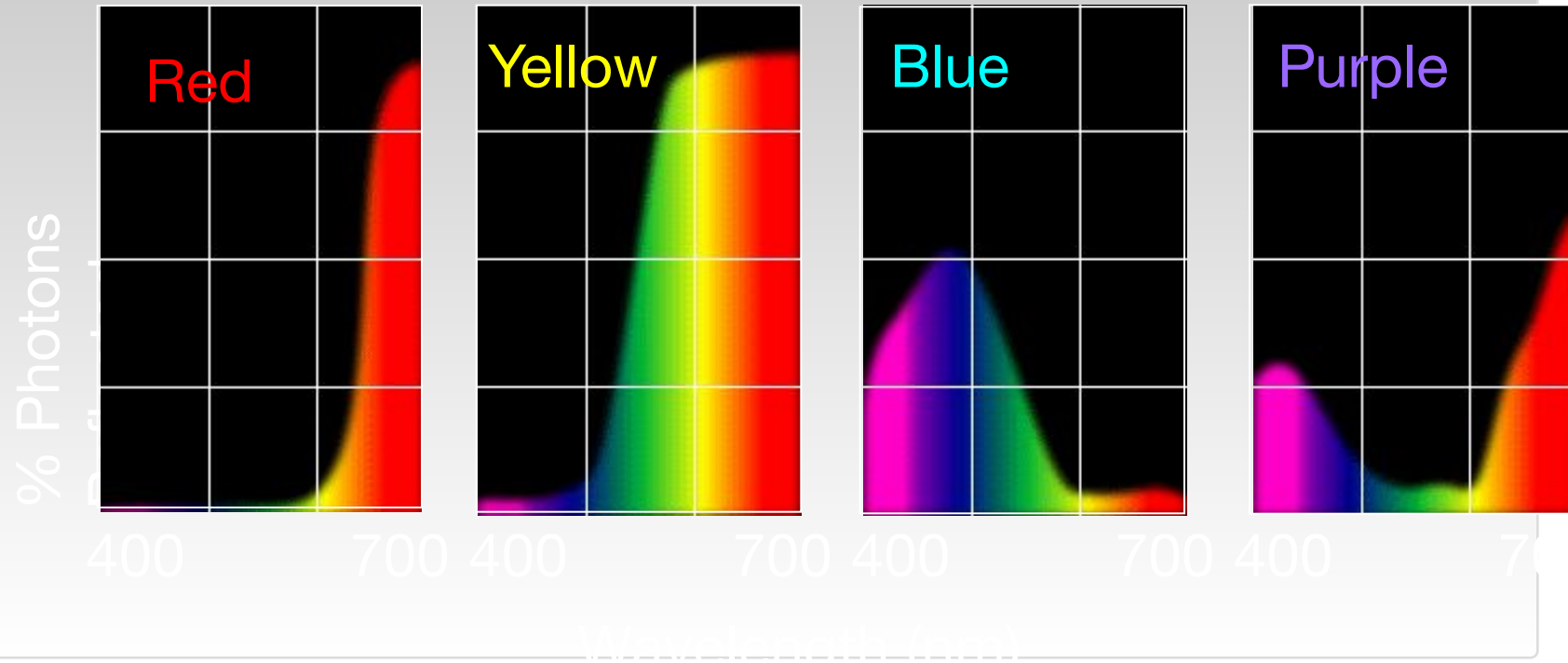


D. Normal Daylight



# The Physics of Light

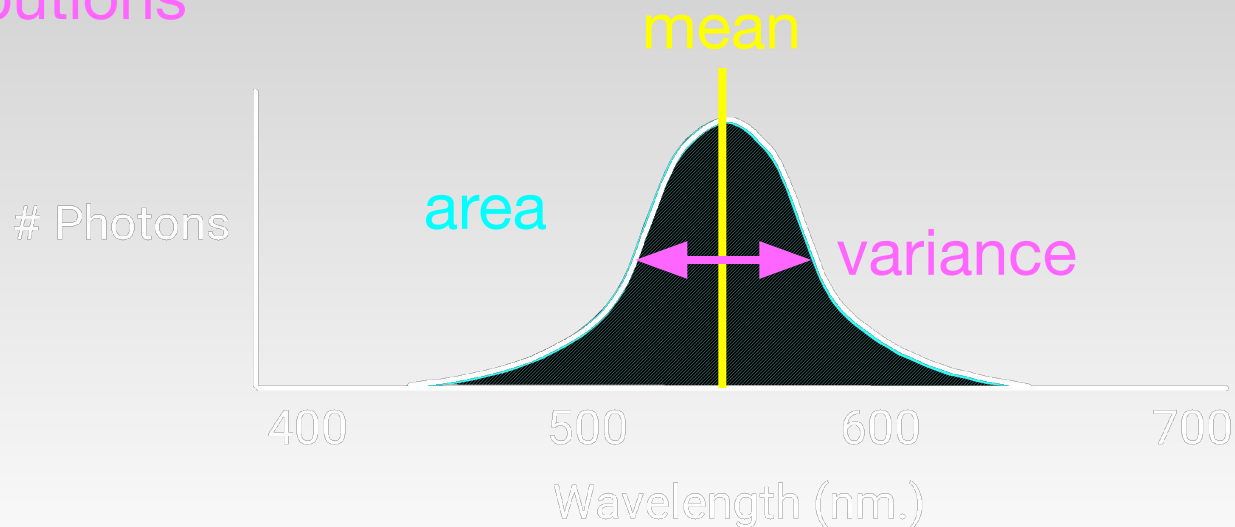
Some examples of the reflectance spectra of surfaces



# The Psychophysical Correspondence

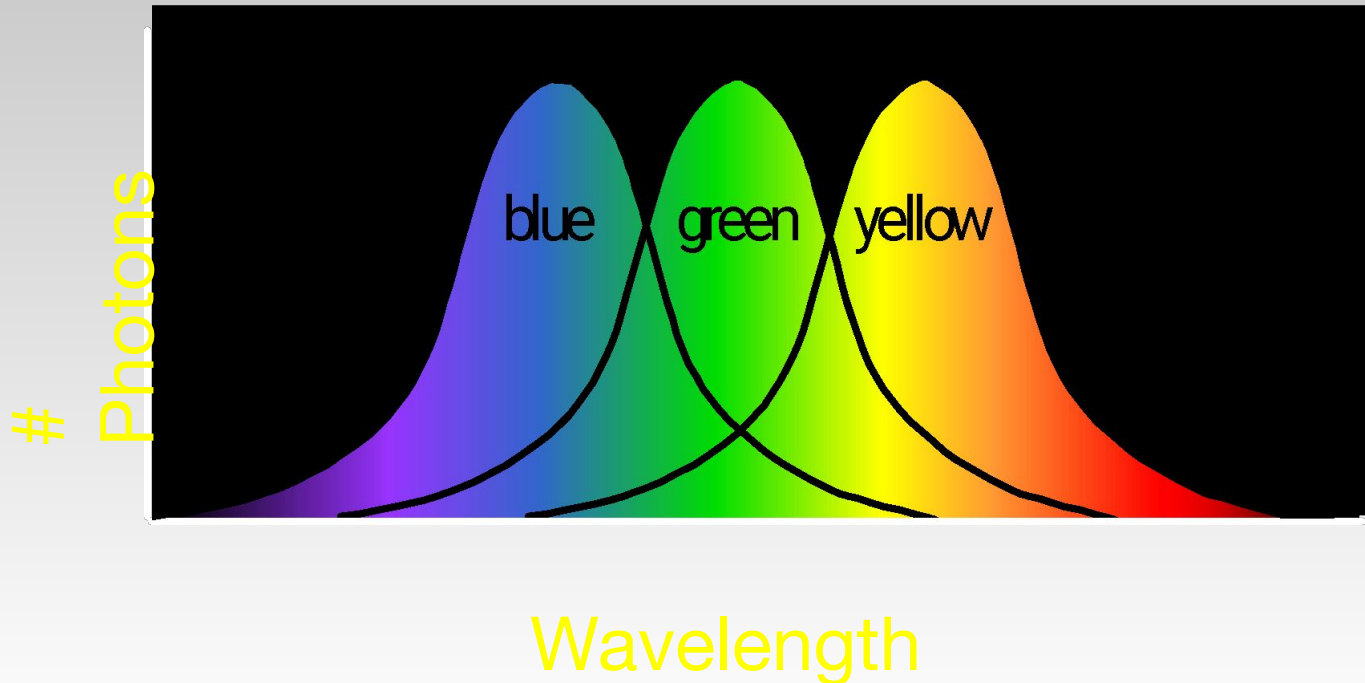
There is no simple functional description for the perceived color of all lights under all viewing conditions, but .....  
A helpful constraint:

Consider only physical spectra with normal distributions



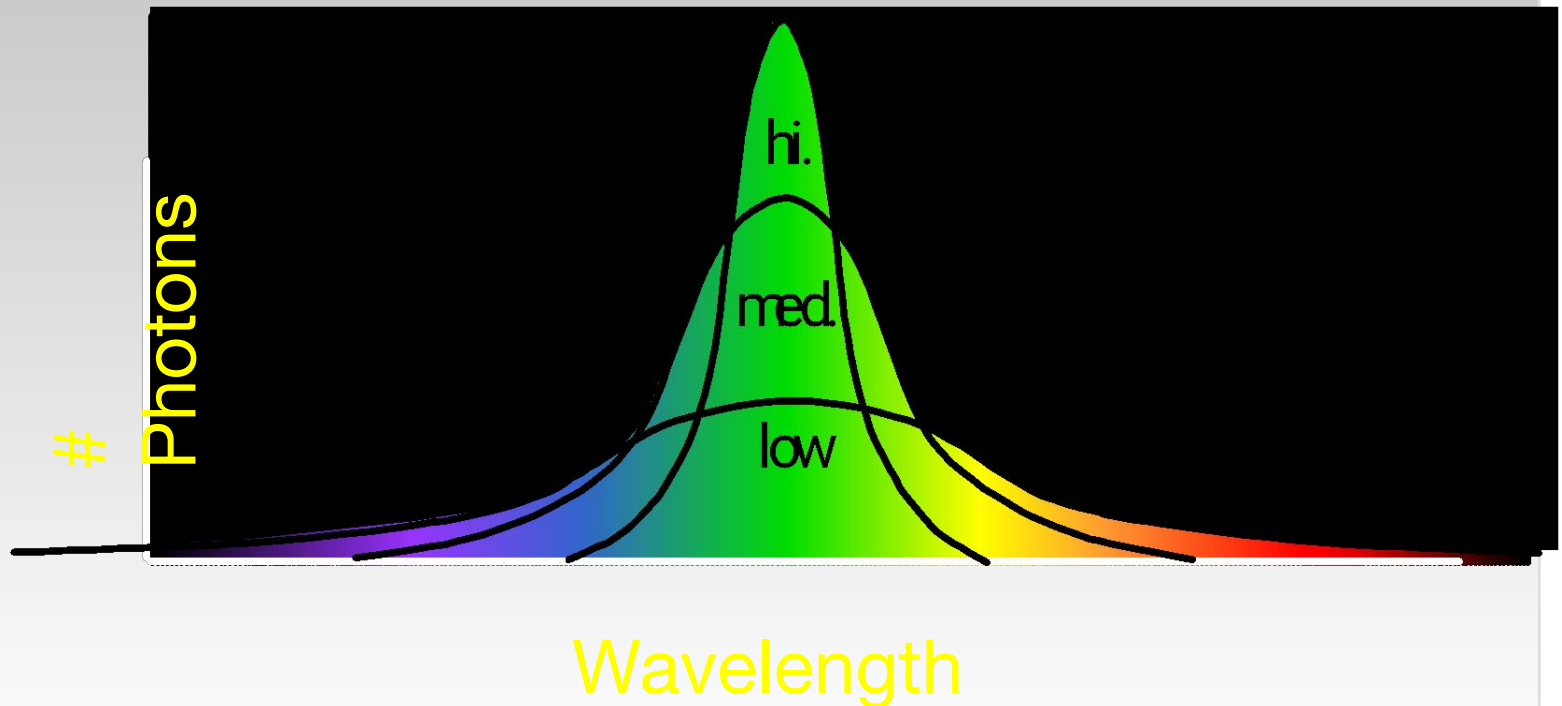
# The Psychophysical Correspondence

Mean  $\leftrightarrow$  Hue



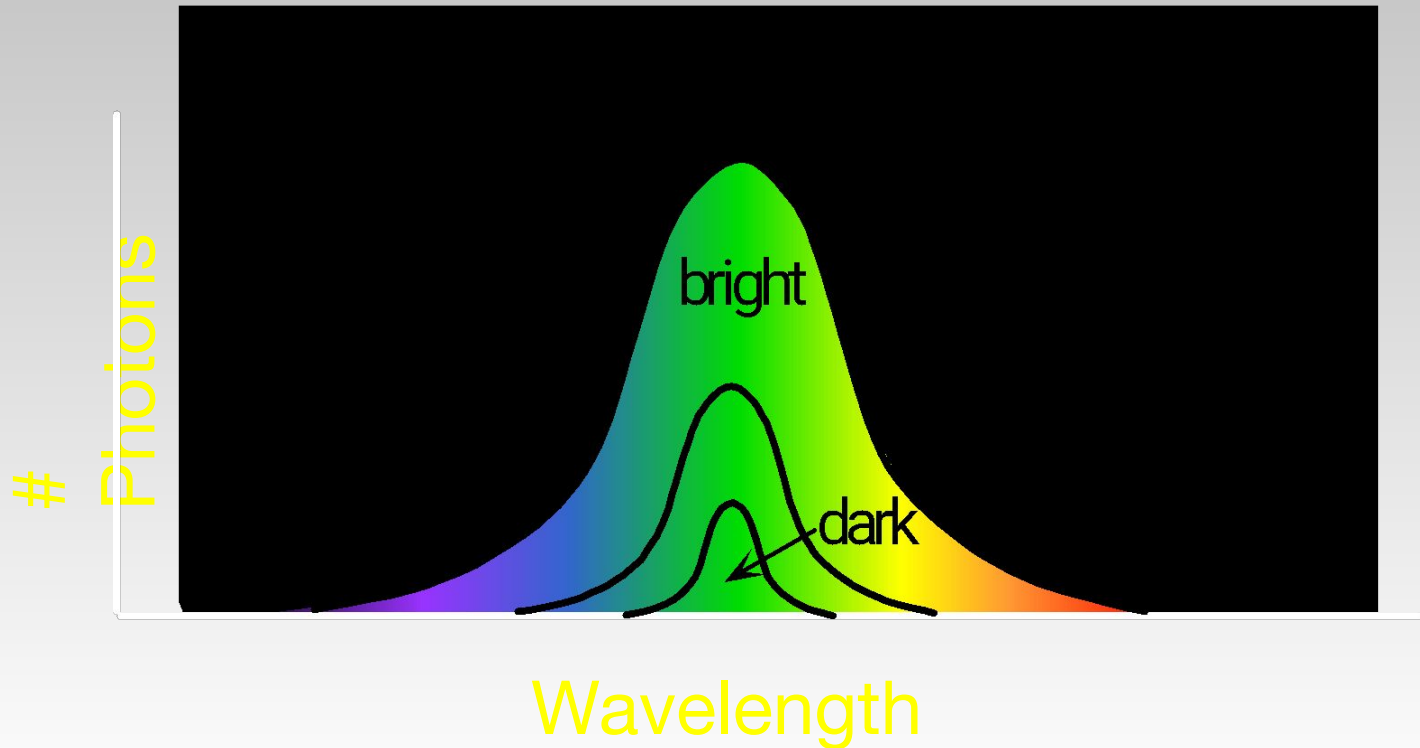
# The Psychophysical Correspondence

Variance  $\longleftrightarrow$  Saturation



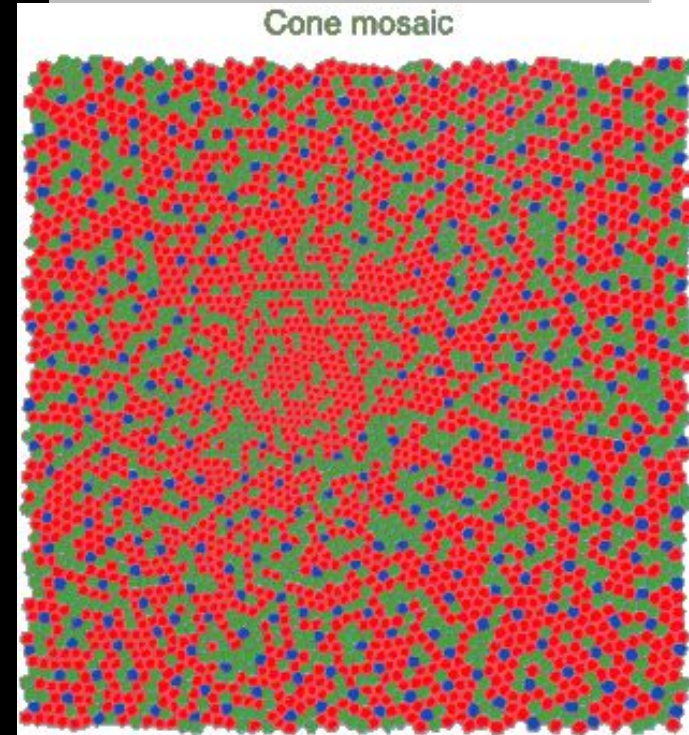
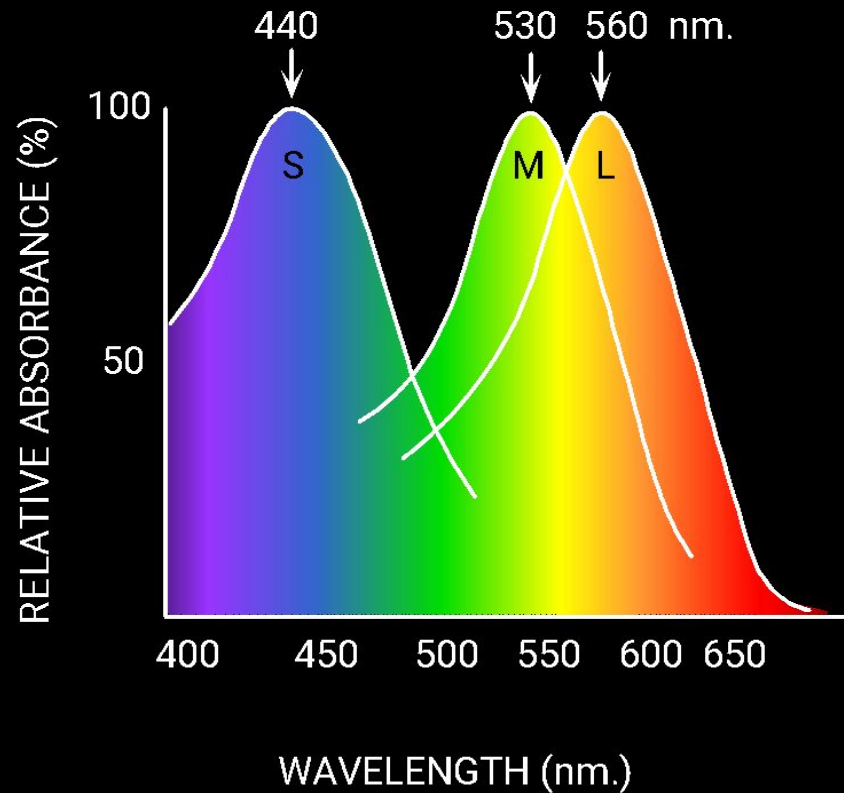
# The Psychophysical Correspondence

Area  $\leftrightarrow$  Brightness



# Physiology of Color Vision

## Three kinds of cones:

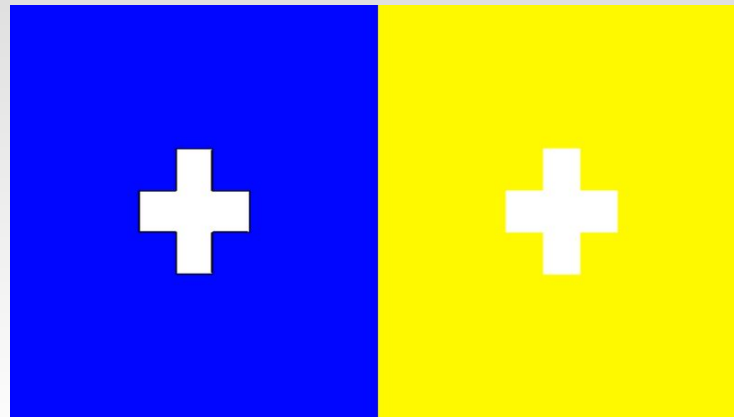
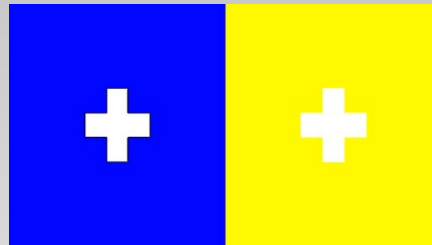


- Why are M and L cones so close?
- Why are there 3?

# Impossible Colors

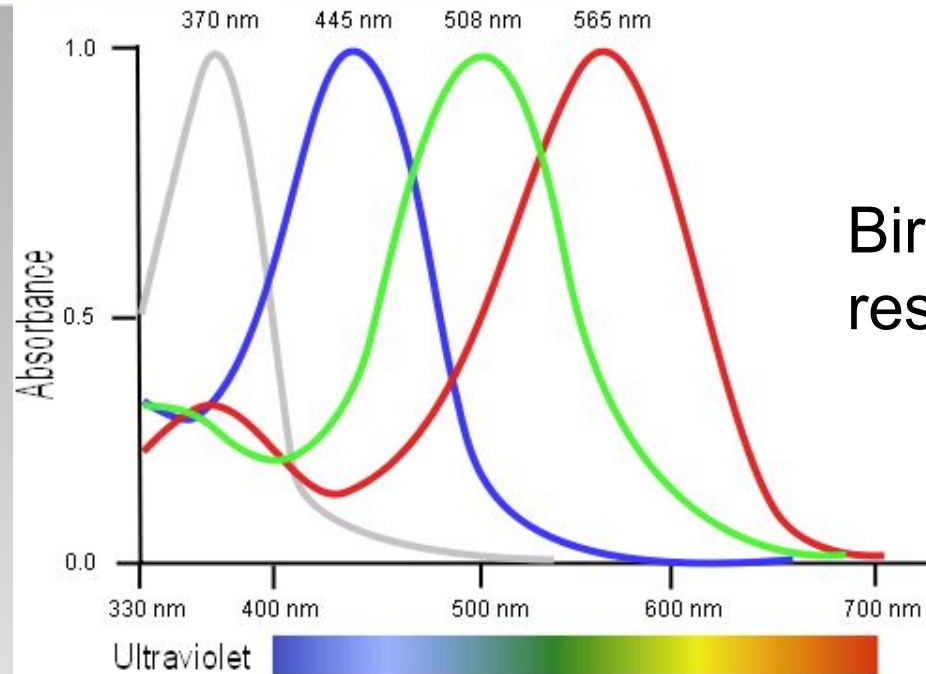
Can you make the cones respond in ways that typical light spectra never would?

[http://en.wikipedia.org/wiki/Impossible\\_colors](http://en.wikipedia.org/wiki/Impossible_colors)





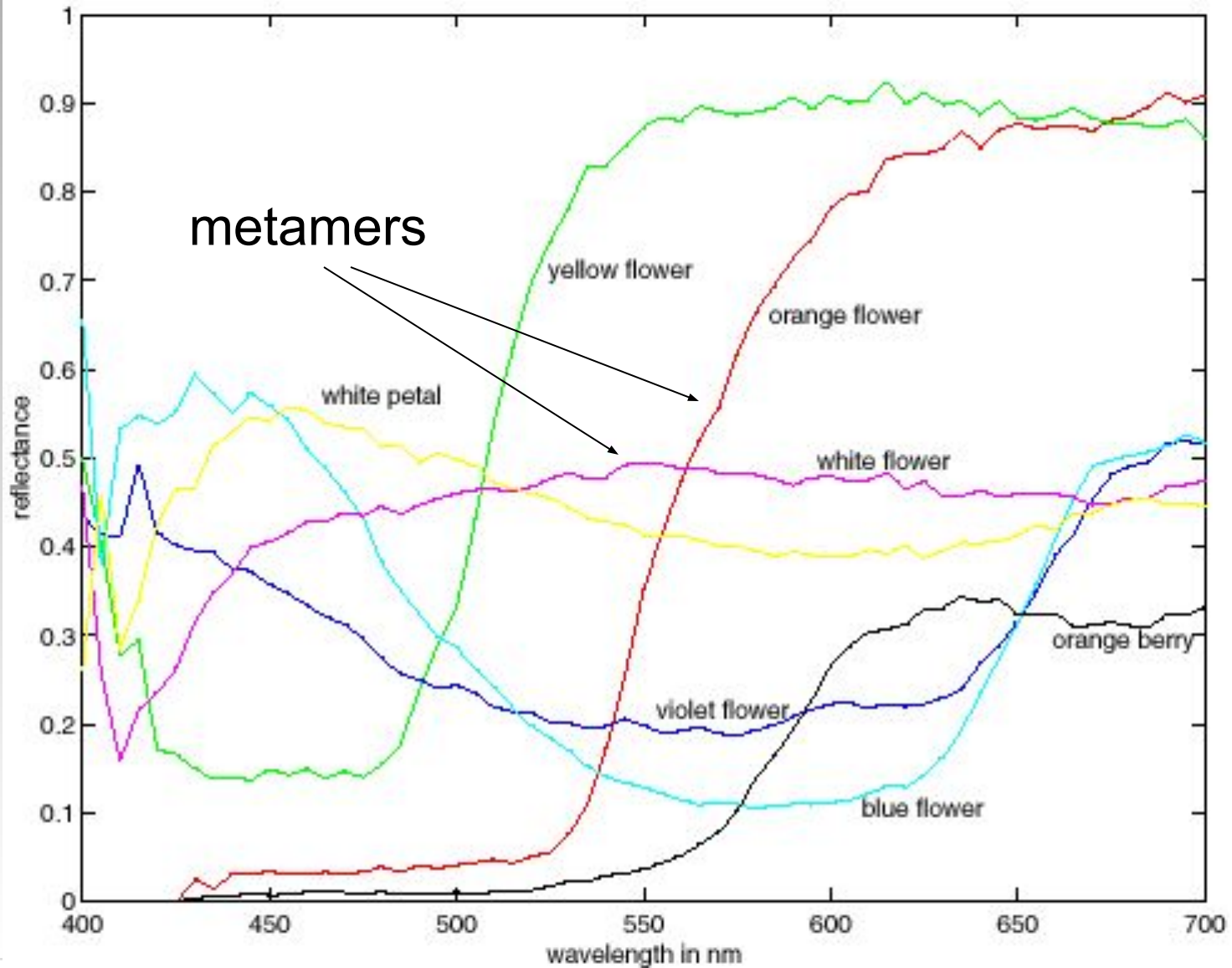
# Tetrachromatism



Bird cone  
responses

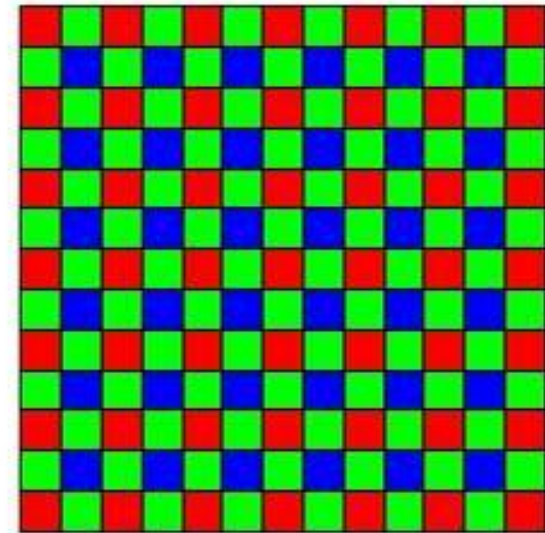
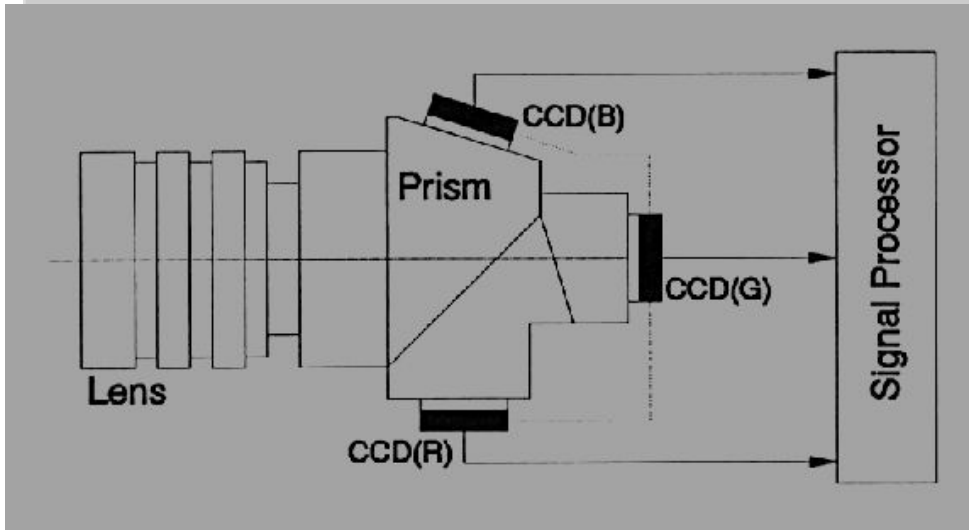
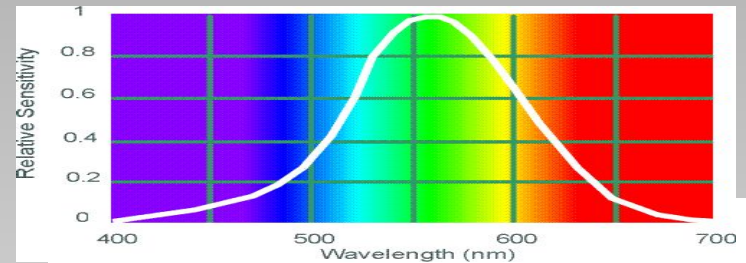
- Most birds, and many other animals, have cones for ultraviolet light.
- Some humans, mostly female, seem to have slight tetrachromatism.

# More Spectra



# Color Sensing in Camera (RGB)

- 3-chip vs. 1-chip: quality vs. cost
- Why more green?



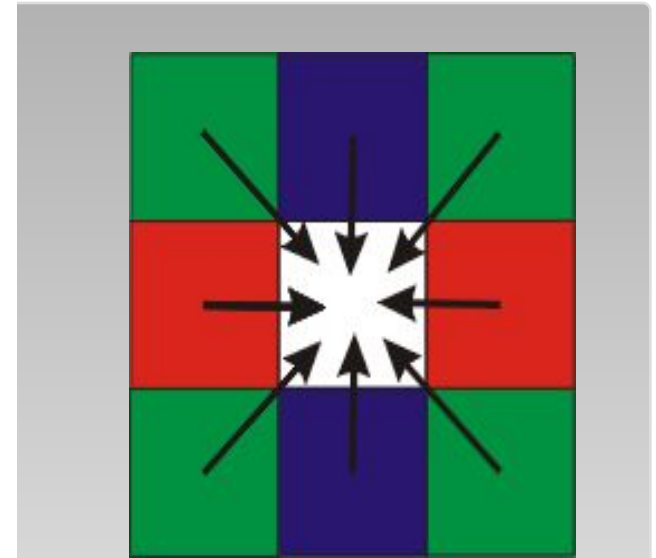
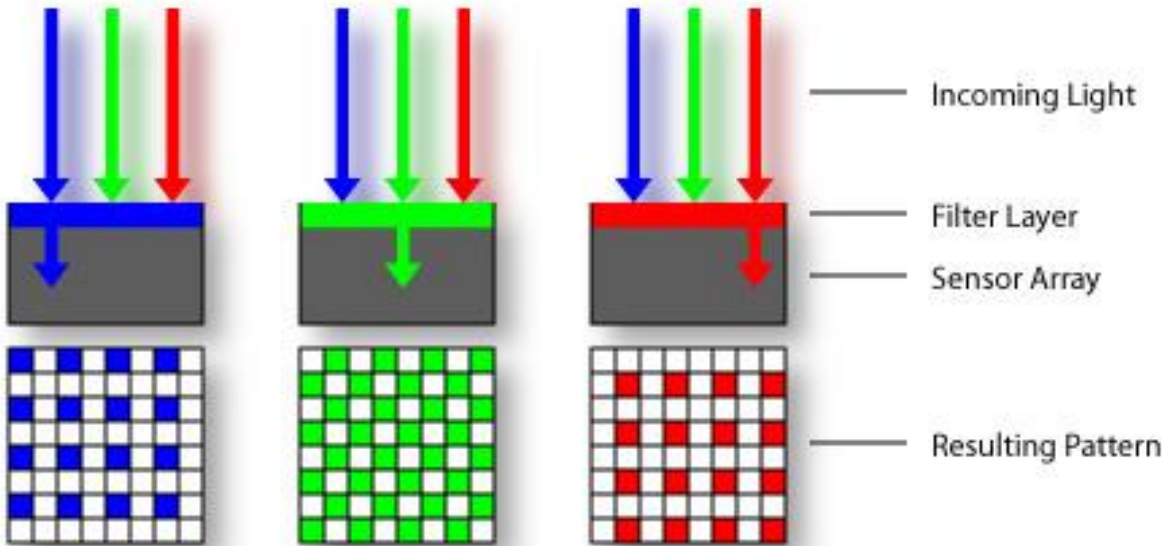
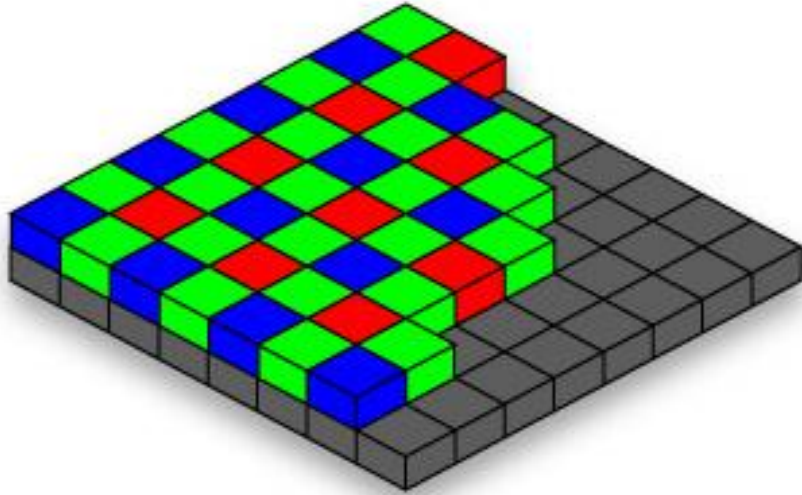
**Bayer filter**

Ruff Works

Why 3 colors?

<http://www.cooldictionary.com/words/Bayer-filter.wikipedia>

# Practical Color Sensing: Bayer Grid



- Estimate RGB at 'G' cells from neighboring values

# Color Image

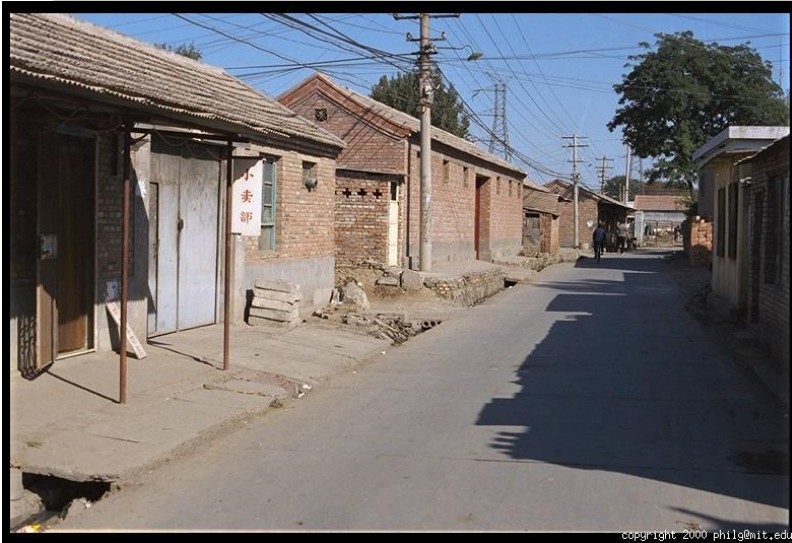
R



G

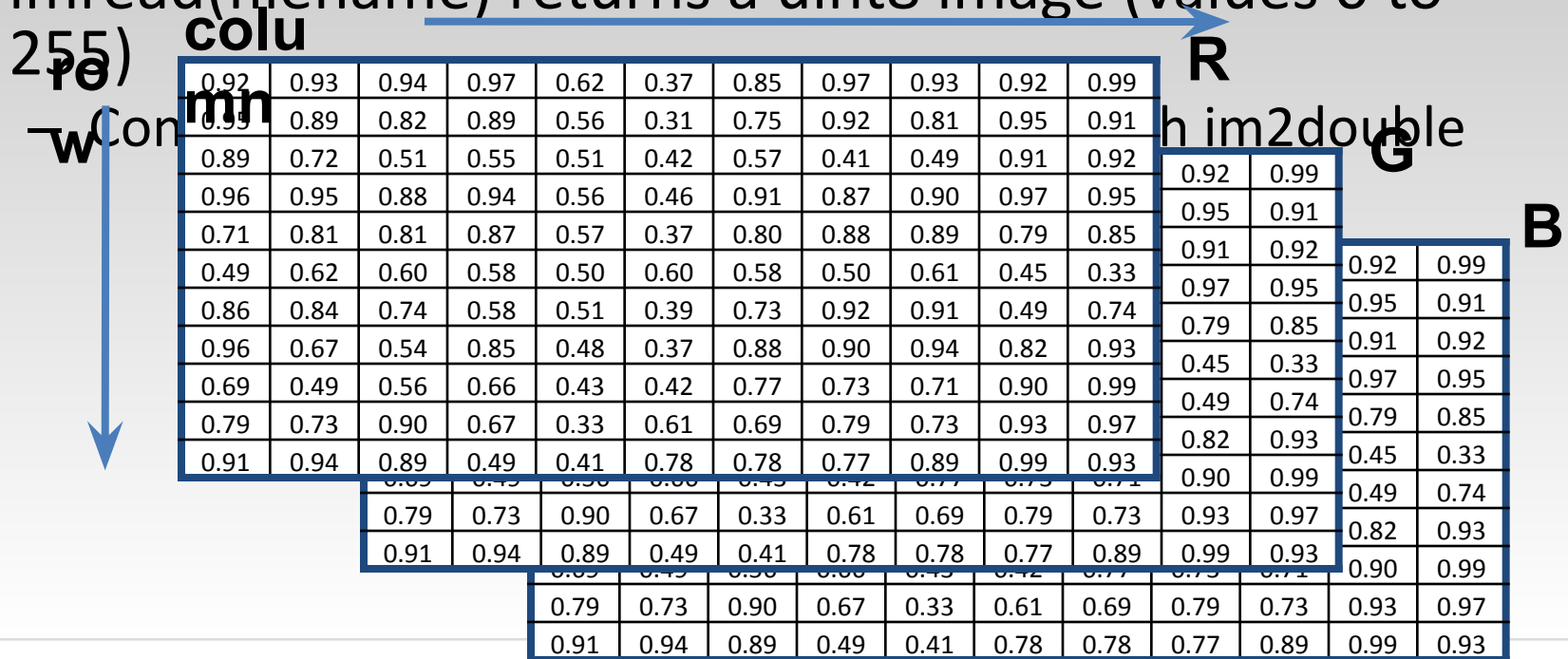


B



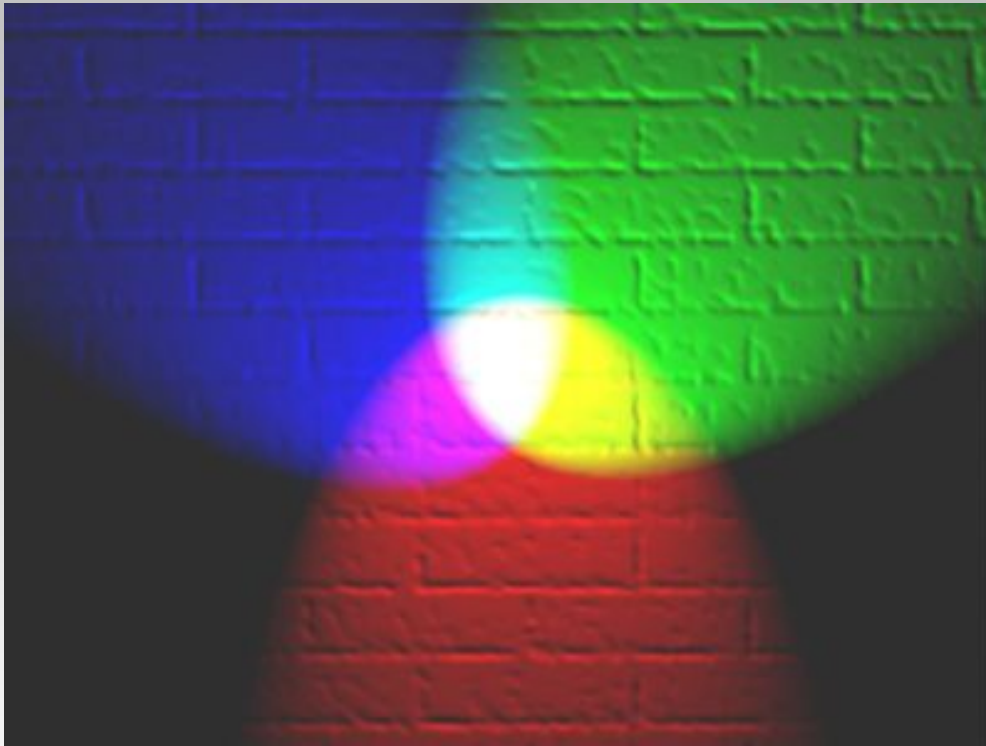
# Images in Matlab

- Images represented as a matrix
- Suppose we have a NxM RGB image called “im”
  - $im(1,1,1)$  = top-left pixel value in R-channel
  - $im(y, x, b)$  = y pixels down, x pixels to right in the  $b^{th}$  channel
  - $im(N, M, 3)$  = bottom-right pixel in B-channel
- `imread(filename)` returns a uint8 image (values 0 to 255)



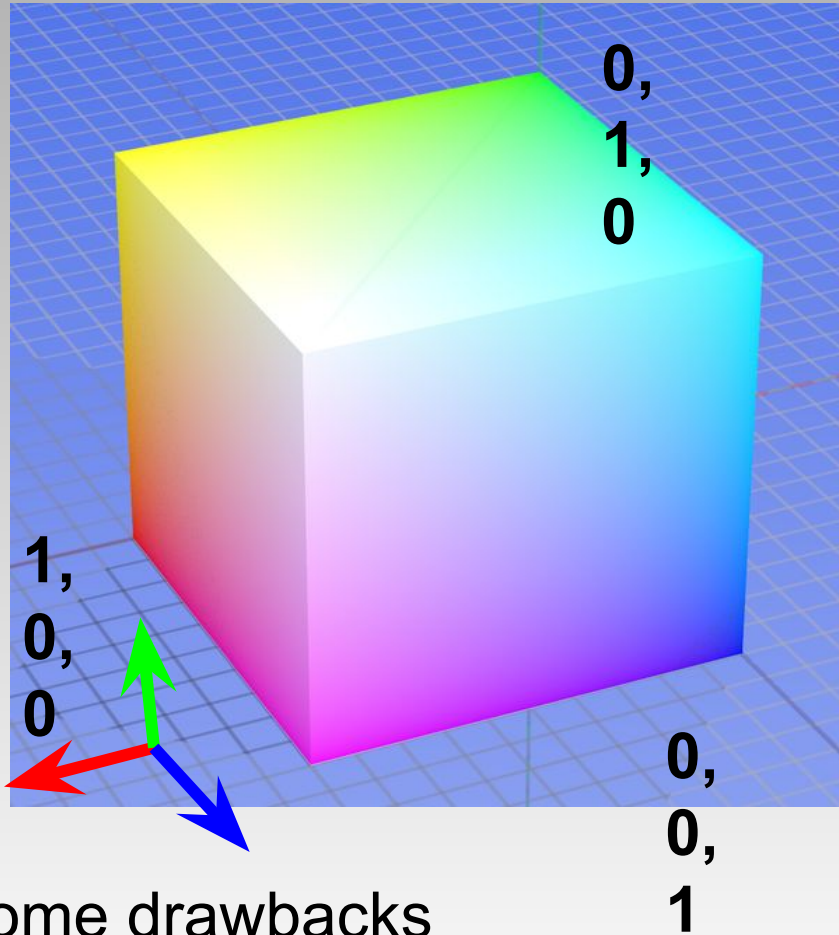
# Color spaces

- How can we represent color?



# Color spaces: RGB

Default color space



**R**  
(G=0,B=0)



**G**  
(R=0,B=0)



**B**  
(R=0,G=0)

Some drawbacks

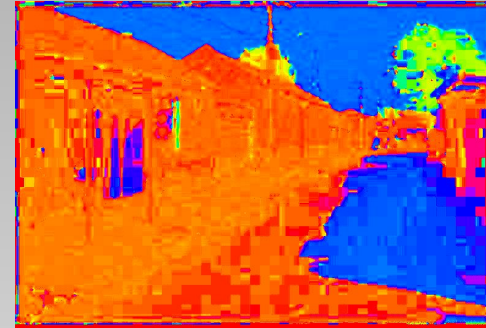
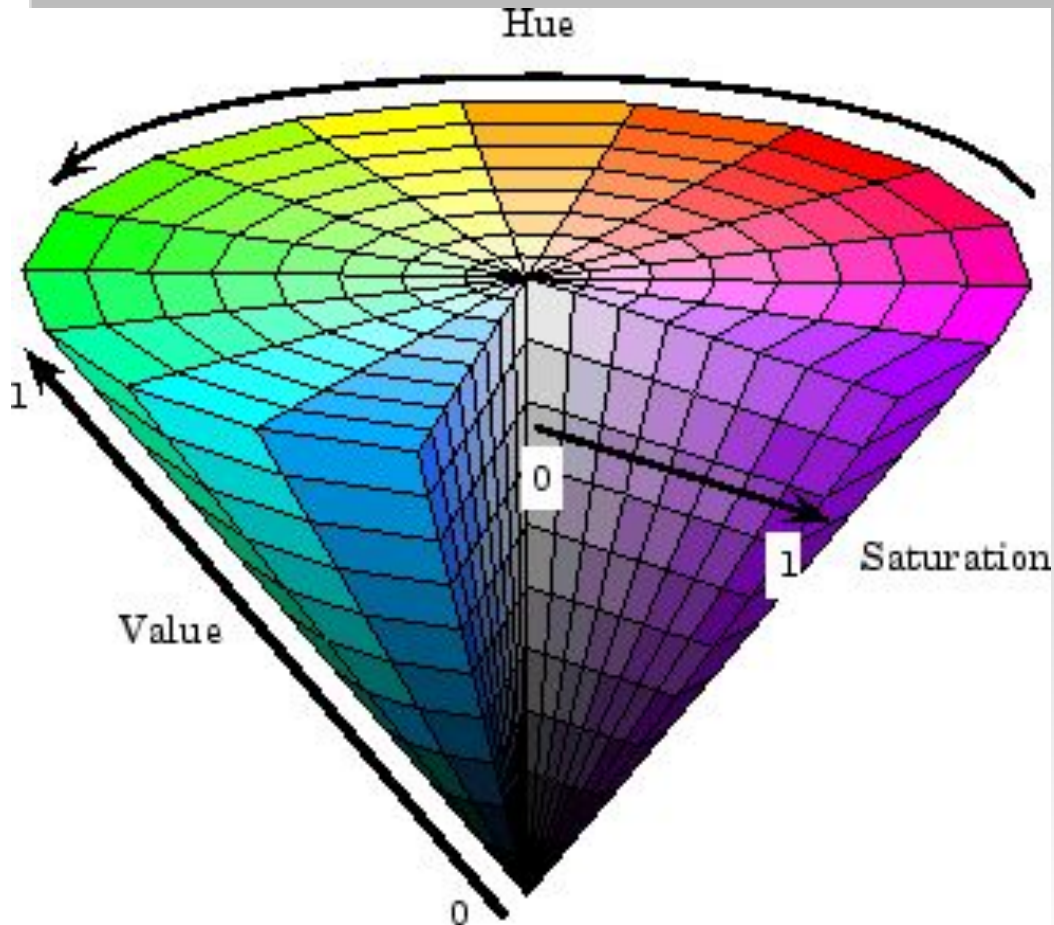
- Strongly correlated channels
- Non-perceptual



# Color spaces: HSV



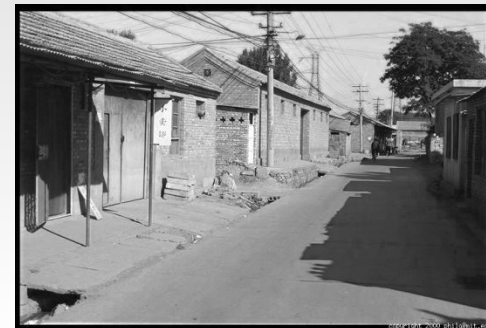
Intuitive color space



**H**  
(S=1,V=1)



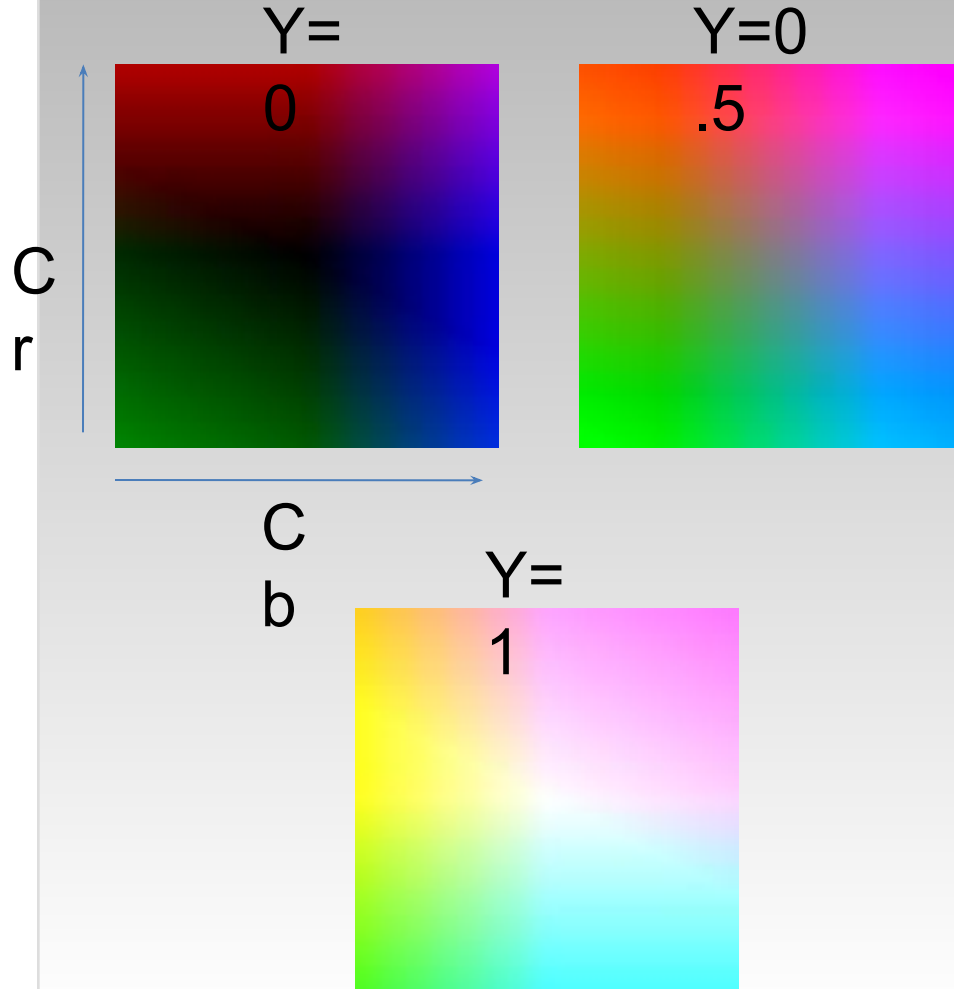
**S**  
(H=1,V=1)



**V**  
(H=1,S=0)

# Color spaces: YCbCr

Fast to compute, good for compression, used by TV



**Y**  
(Cb=0.5, Cr=0.5)



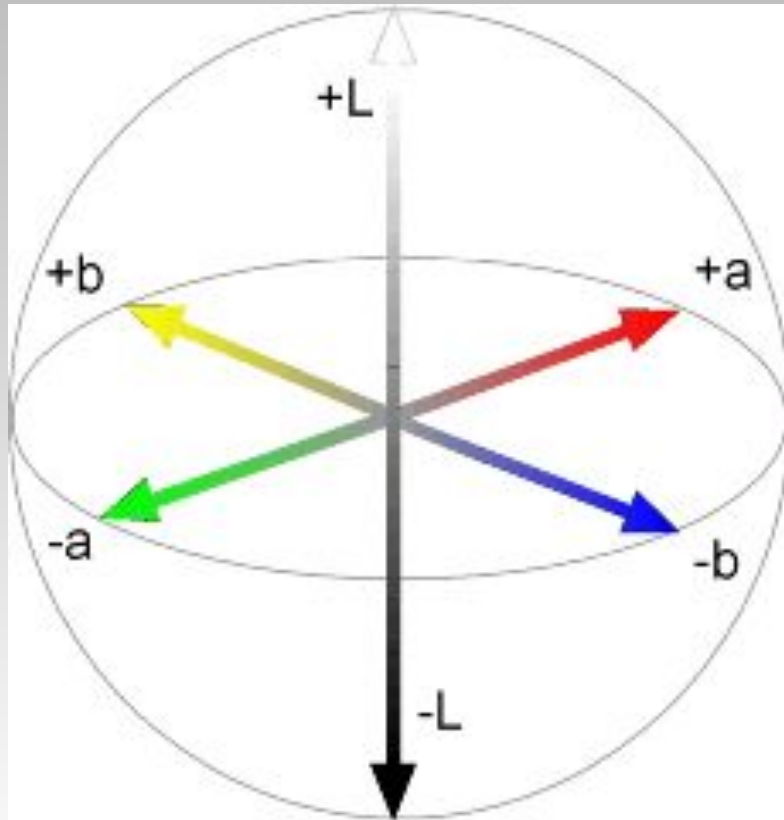
**Cb**  
(Y=0.5, Cr=0.5)



**Cr**  
(Y=0.5, Cb=0.5)

# Color spaces: $L^*a^*b^*$

“Perceptually uniform”\* color space



**L**  
( $a=0, b=0$ )



**a**  
( $L=65, b=0$ )



**b**  
( $L=65, a=0$ )

If you had to choose, would you rather go without luminance or chrominance?

If you had to choose, would you rather go without **luminance** or chrominance?

# Most information in intensity



Only color shown – constant intensity

# Most information in intensity



Only intensity shown – constant color

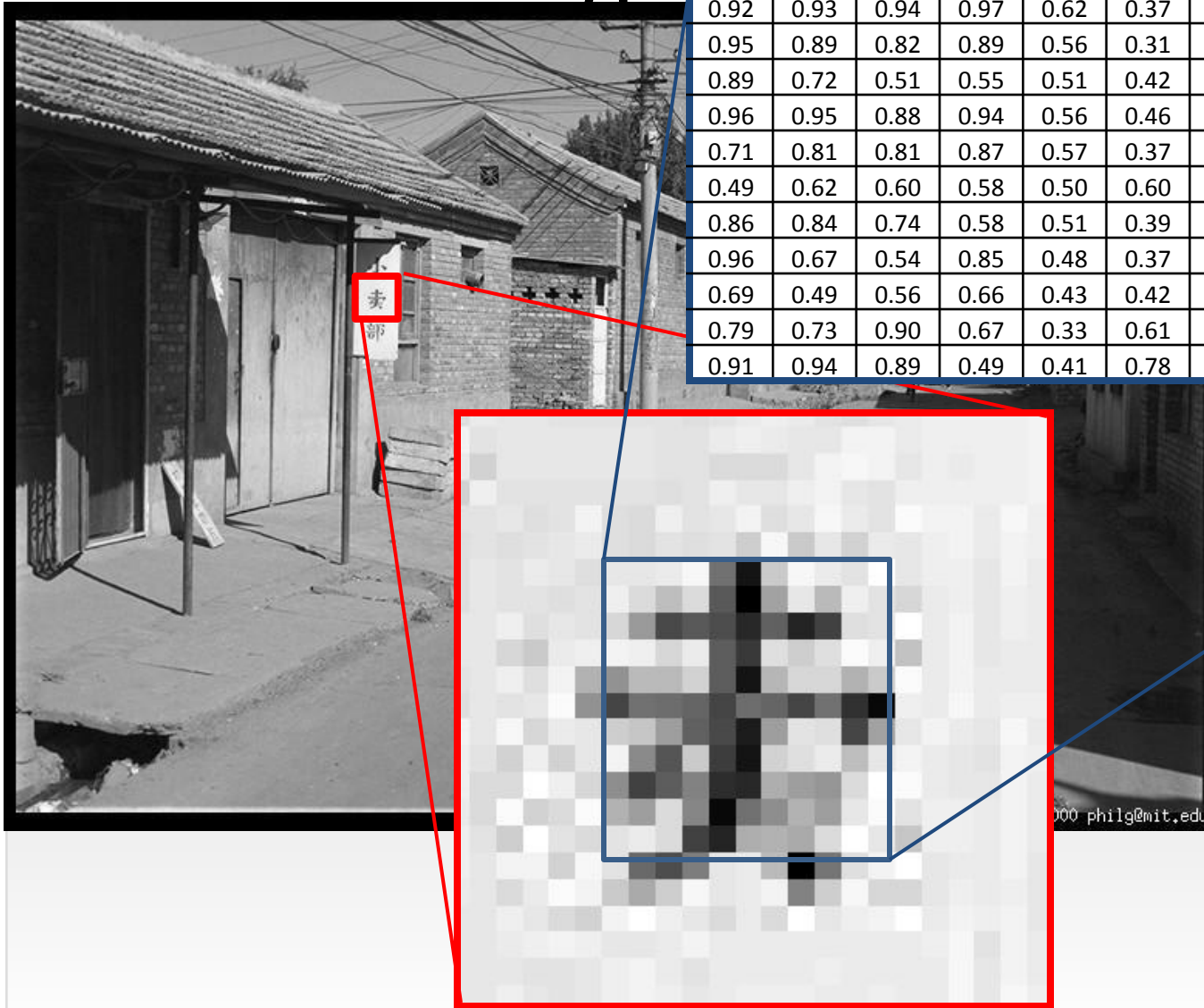
# Most information in intensity



Original image



# Back to grayscale intensity



0.92	0.93	0.94	0.97	0.62	0.37	0.85	0.97	0.93	0.92	0.99
0.95	0.89	0.82	0.89	0.56	0.31	0.75	0.92	0.81	0.95	0.91
0.89	0.72	0.51	0.55	0.51	0.42	0.57	0.41	0.49	0.91	0.92
0.96	0.95	0.88	0.94	0.56	0.46	0.91	0.87	0.90	0.97	0.95
0.71	0.81	0.81	0.87	0.57	0.37	0.80	0.88	0.89	0.79	0.85
0.49	0.62	0.60	0.58	0.50	0.60	0.58	0.50	0.61	0.45	0.33
0.86	0.84	0.74	0.58	0.51	0.39	0.73	0.92	0.91	0.49	0.74
0.96	0.67	0.54	0.85	0.48	0.37	0.88	0.90	0.94	0.82	0.93
0.69	0.49	0.56	0.66	0.43	0.42	0.77	0.73	0.71	0.90	0.99
0.79	0.73	0.90	0.67	0.33	0.61	0.69	0.79	0.73	0.93	0.97
0.91	0.94	0.89	0.49	0.41	0.78	0.78	0.77	0.89	0.99	0.93



- Восприятие света и цвета
- Камера и человеческий глаз
- Сенсоры и пиксели
- Фильтрация изображений
- Практическое задание: линейные фильтры



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИИ  
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ  
ИНСТИТУТ РОБОТОТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

***Спасибо за внимание!***



Россия, 194064, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21  
тел.: (812) 552-0110 (812) 552-1325 факс: (812) 556-3692 <http://www.rtc.ru> e-mail: [rtc@rtc.ru](mailto:rtc@rtc.ru)