



Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет вычислительной математики и кибернетики

Лаборатория компьютерной графики

# Научная визуализация

с использованием вычислений  
на графических процессорах

Турлапов Вадим Евгеньевич, проф. каф. МО ЭВМ  
ф-та ВМК ННГУ, [vadim.turlapov@cs.vmk.unn.ru](mailto:vadim.turlapov@cs.vmk.unn.ru)

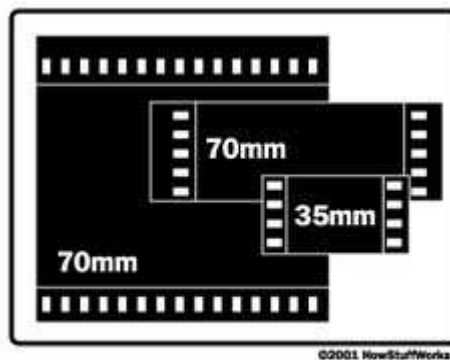
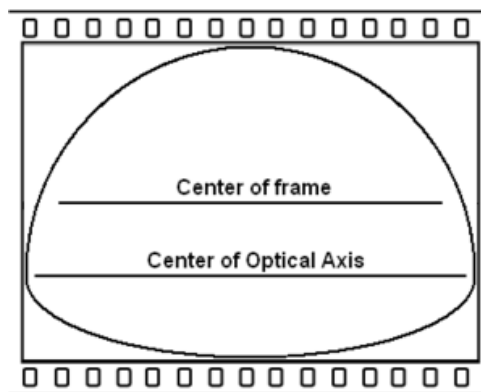


Гаврилов  
Николай  
Игоревич

Боголепов  
Денис  
Константинович



# Новая виртуальная реальность

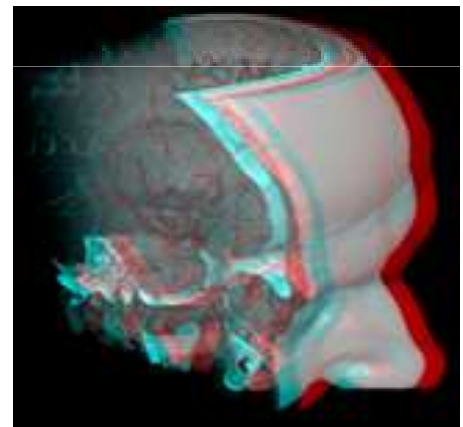
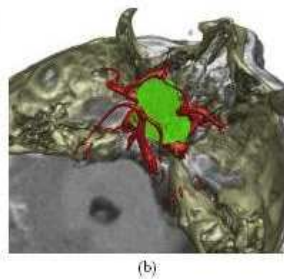
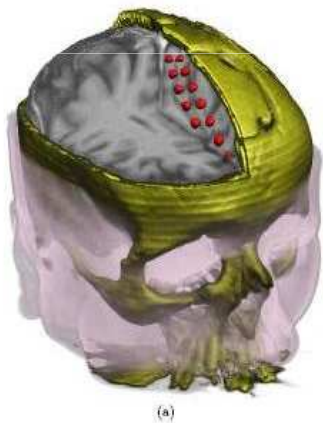


230%



10000x7000px  
22[m]x16[m]

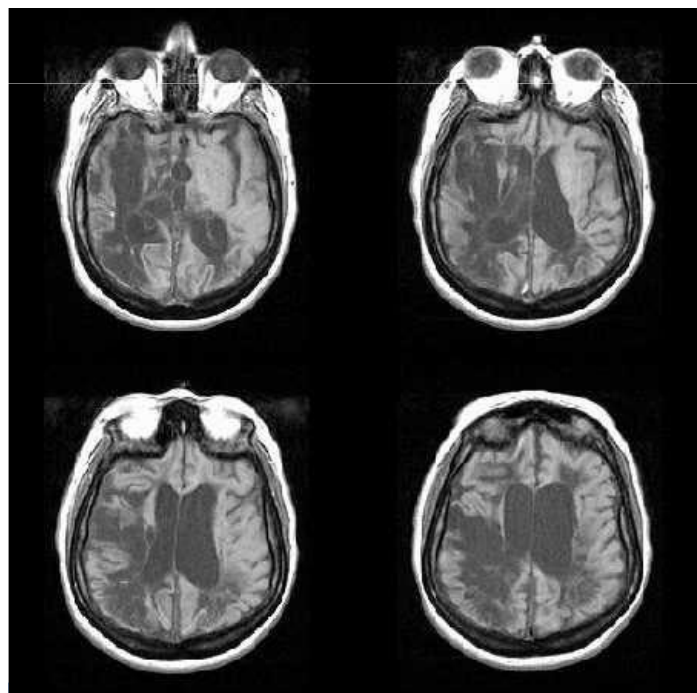
# 3D и стереовизуализация в науке, технике и медицине



# Компьютерная томография – данные

- Результат томографии – 3D матрица или набор 2D слоёв
- Сечения – традиционный метод визуализации

## MRT

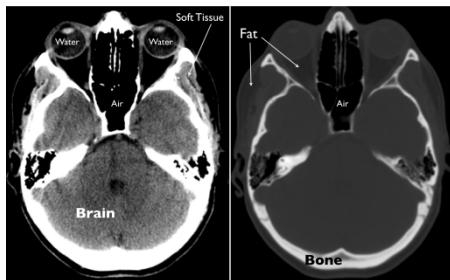


## СТ

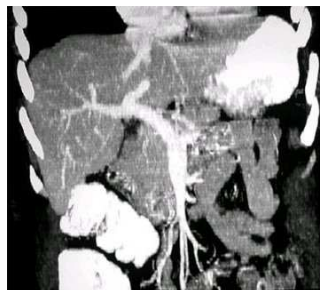




# Медицинская визуализация



Двумерные чёрно-белые слои



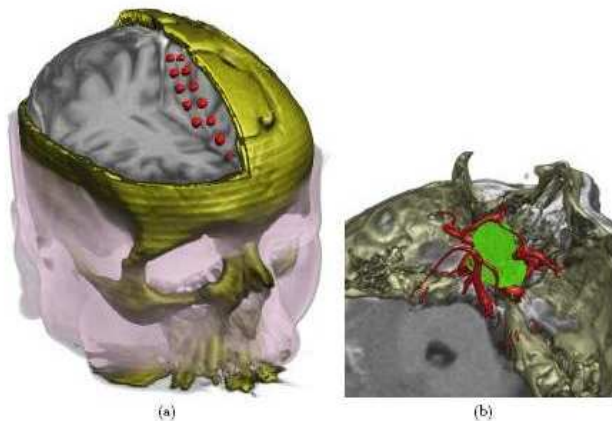
Проекция максимальной интенсивности (MIP)



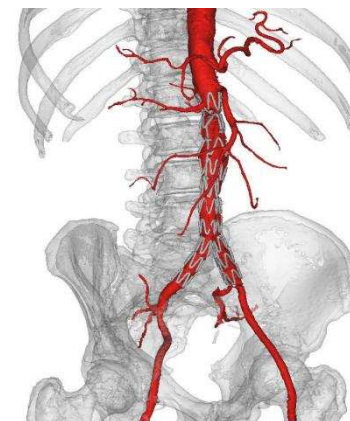
Мультипланарная реконструкция (MPR)



Рентген (интегральная  
Характеристика плотности)

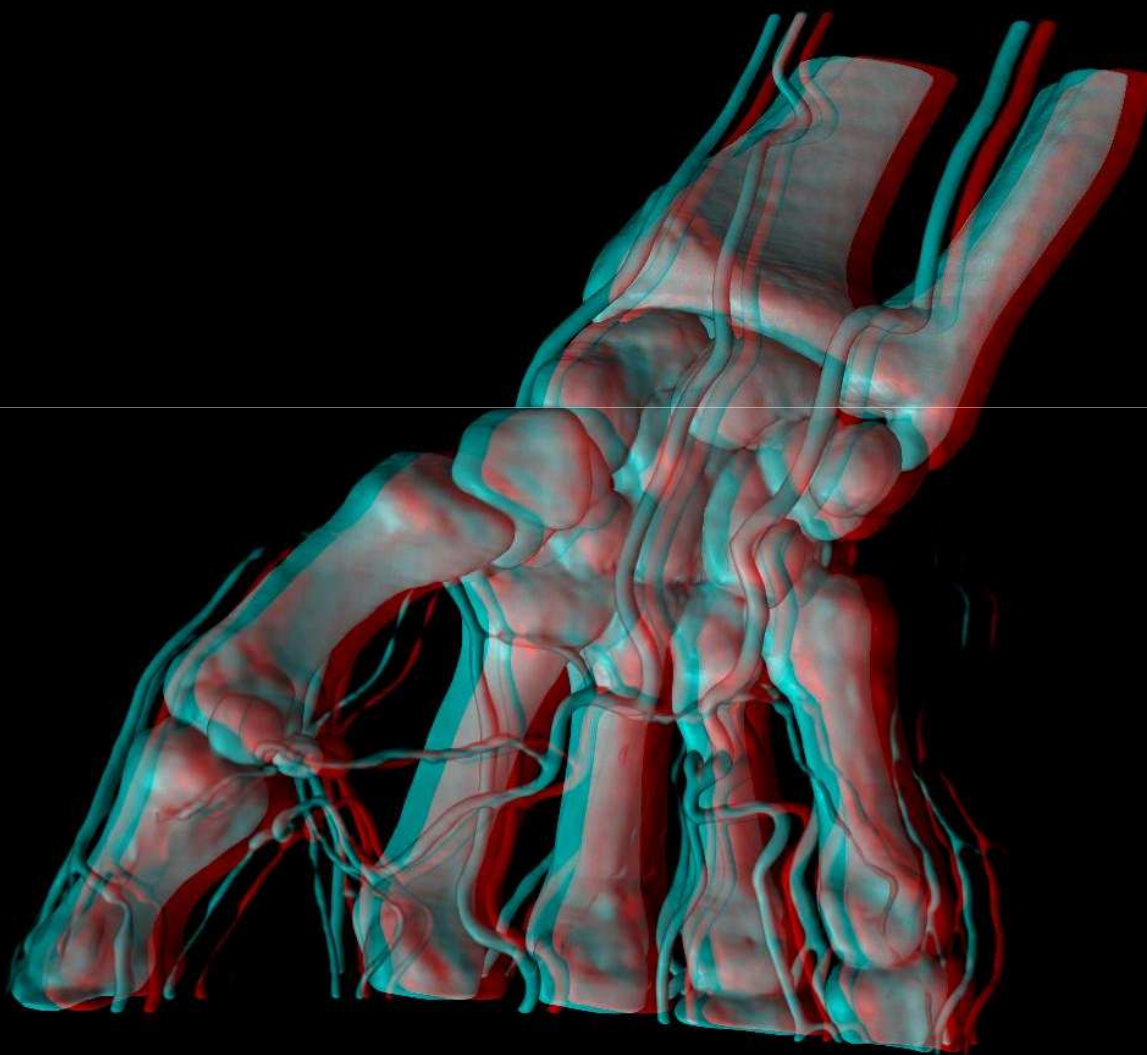


Мультиобъёмный рендеринг  
(2 и более 3D массивов)

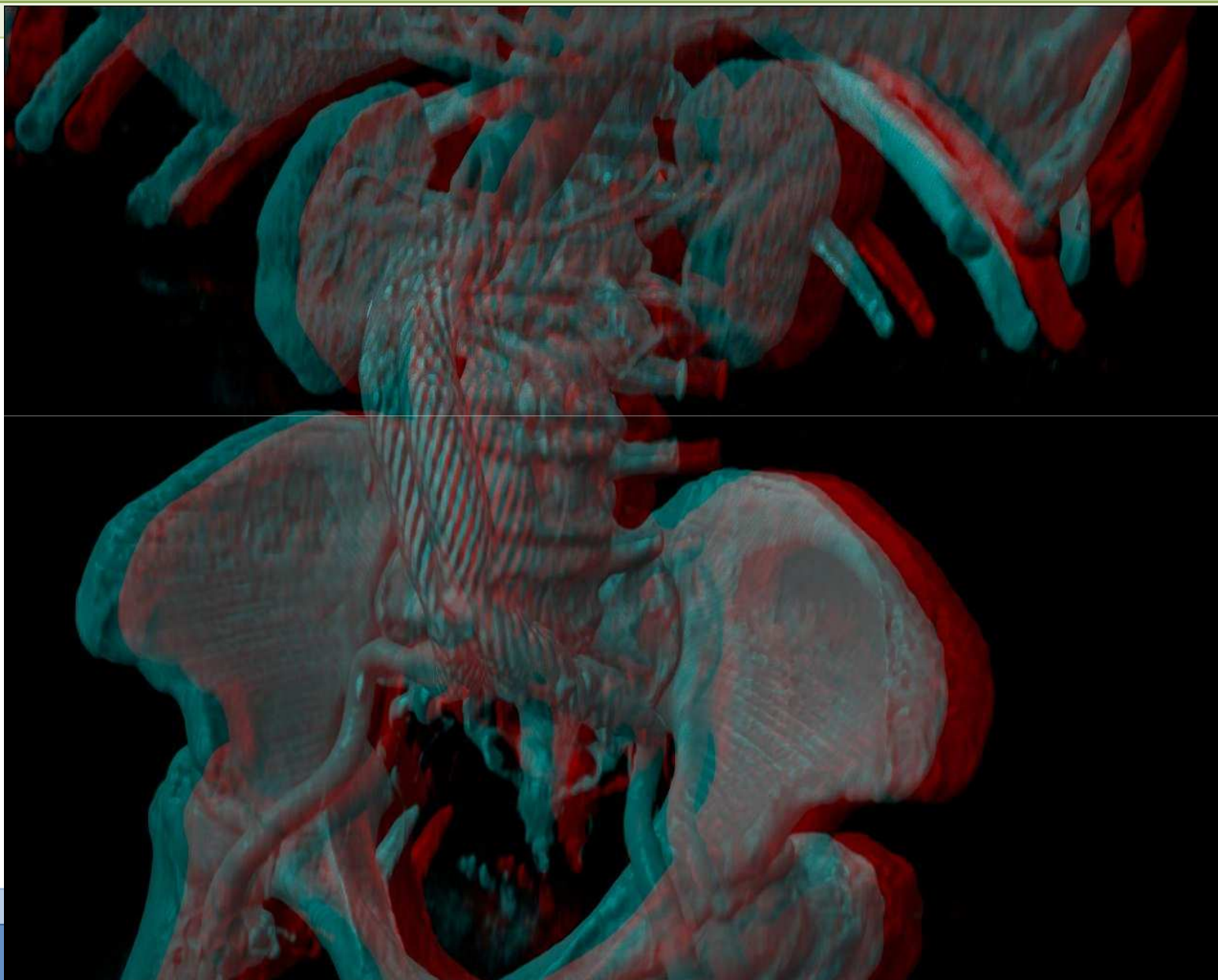


Объёмный рендеринг  
сегментированных данных

# Анаглифные очки...

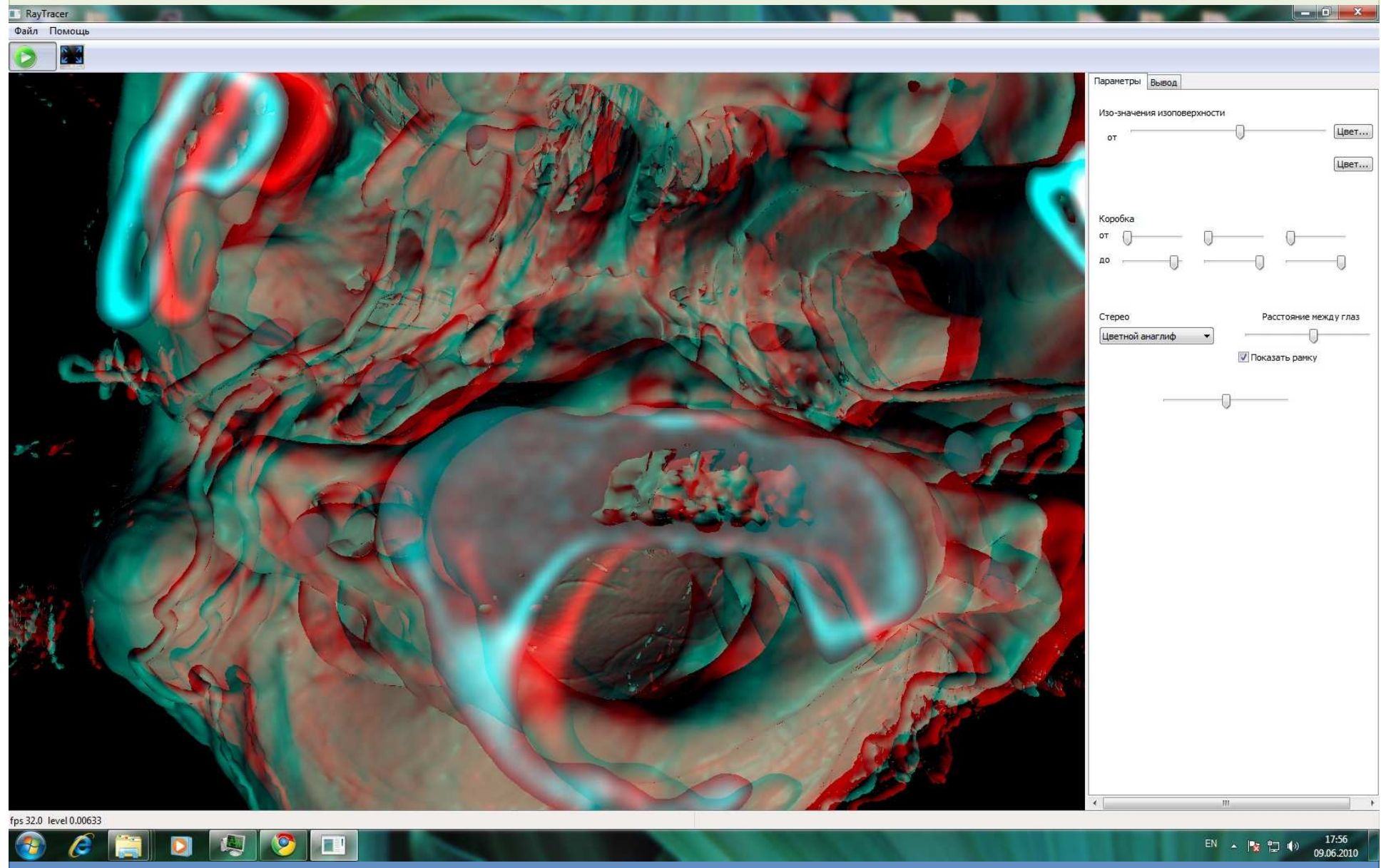


# Анаглифные очки...



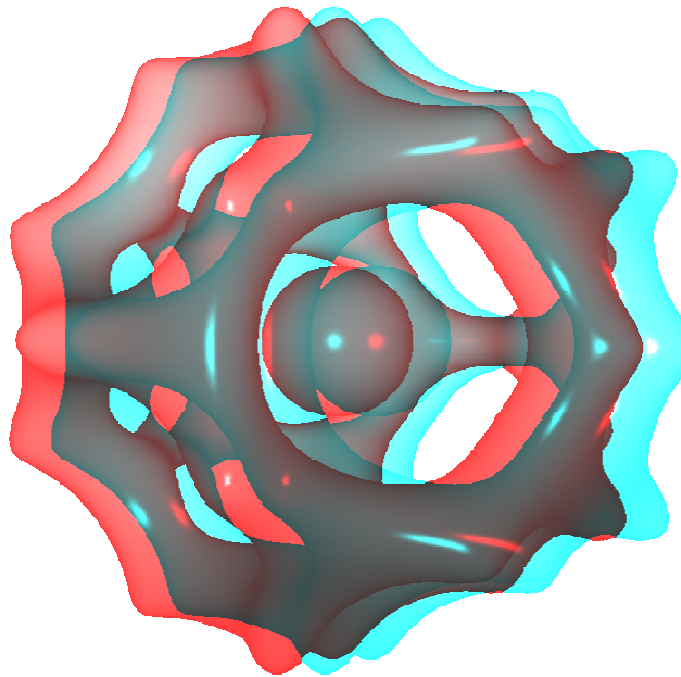


# Анаглифные очки...



# Сравнение различных анаглифов...

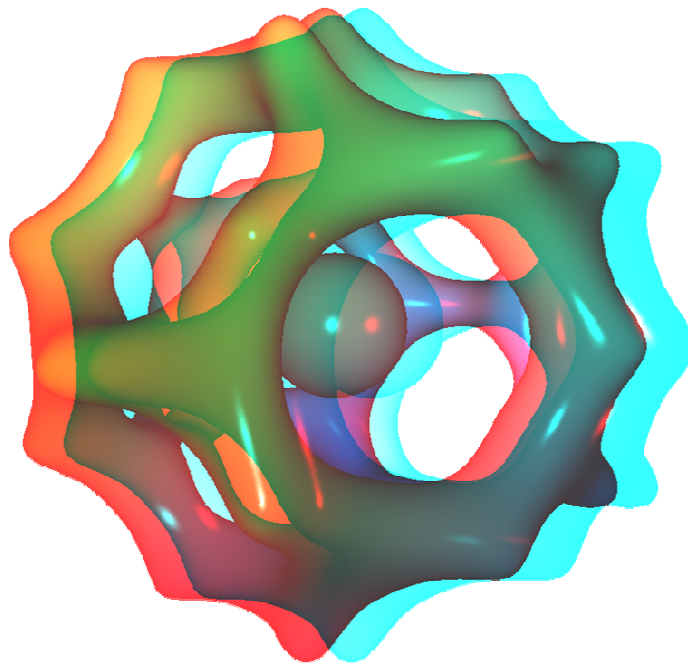
- *Gray Anaglyph*



$$\begin{bmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

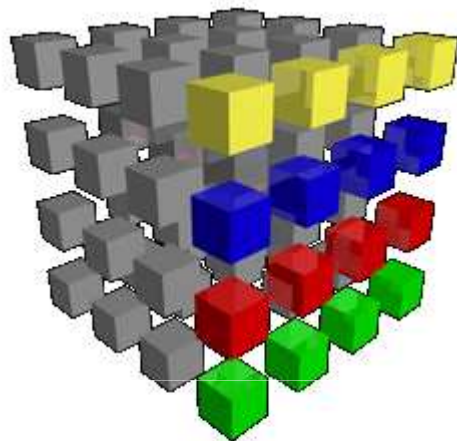
# Сравнение различных анаглифов...

- *Color Anaglyph*



$$\begin{bmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{bmatrix}$$



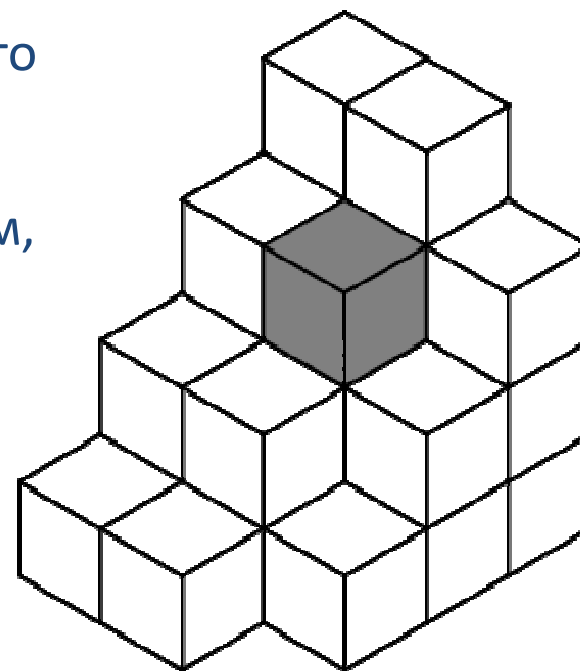


## **2.Объёмный рендеринг**

### **Основные понятия**

# Объёмные данные

- Трёхмерная матрица вокселей
  - Воксели лежат в узлах регулярной прямоугольной сетки
- ▶ Воксел – элемент объёмных данных
  - ▶ Характеризует данные в окрестности своего расположения
  - ▶ Может быть не только скаляром (температура, плотность, ...), но и вектором, матрицей, и т.д.
- ▶ Интерполяция
  - ▶ При выборке значения данных из произвольной точки пространства берётся интерполированное значение



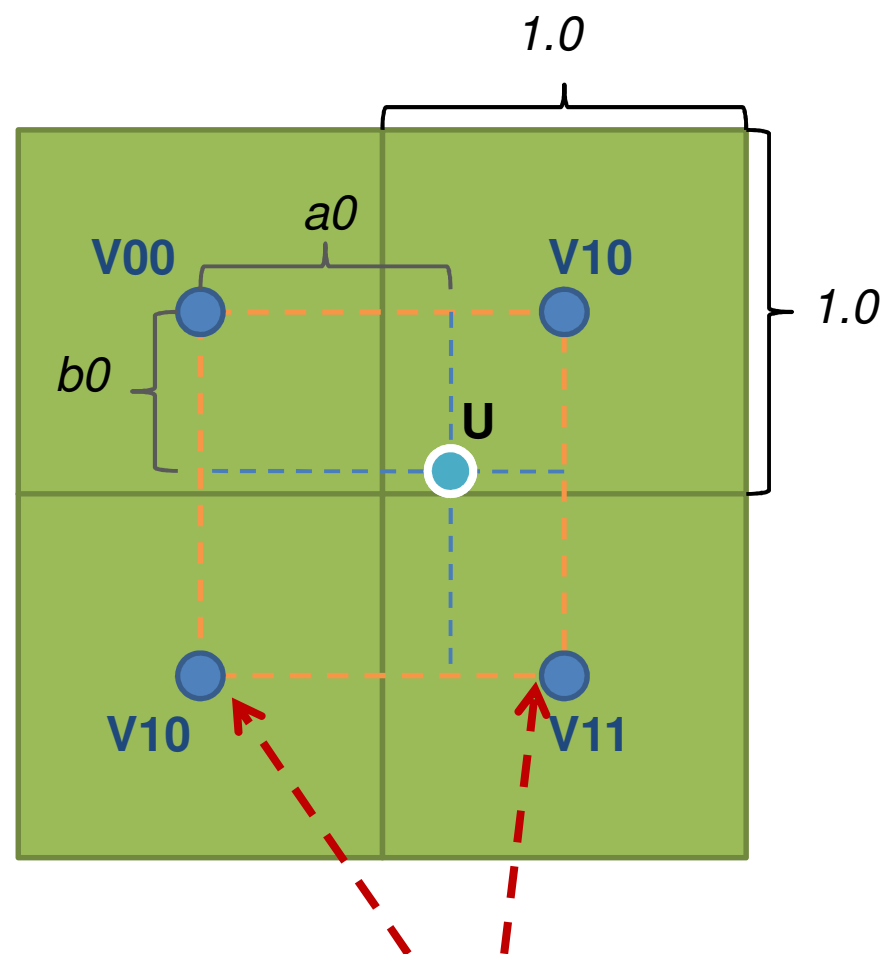
# Билинейная и трилинейная интерполяция

$$\mathbf{U} = a_1 * b_1 * \mathbf{V}_{00} + \\ a_0 * b_1 * \mathbf{V}_{10} + \\ a_1 * b_0 * \mathbf{V}_{01} + \\ a_0 * b_0 * \mathbf{V}_{11}$$

$$a_1 = 1 - a_0$$

$$b_1 = 1 - b_0$$

$\mathbf{V}_{ij}$  – значения вокселей



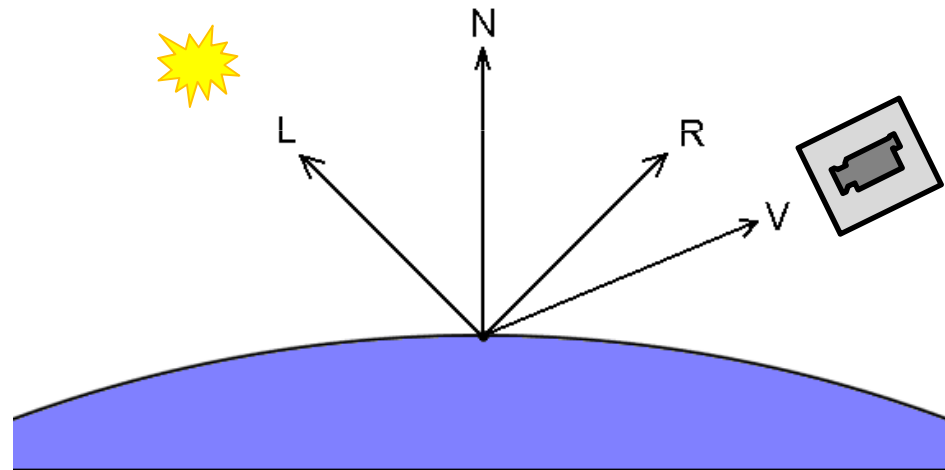
Геометрические центры вокселей



# Локальное освещение

- Улучшает пространственность восприятия объектов

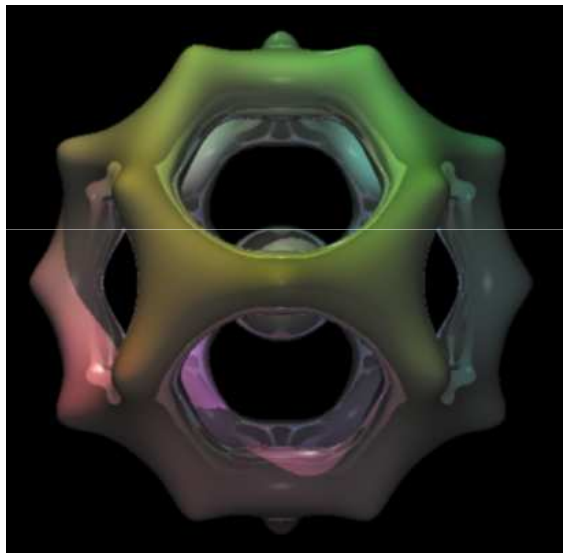
Модель освещения  
Блина-Фонга



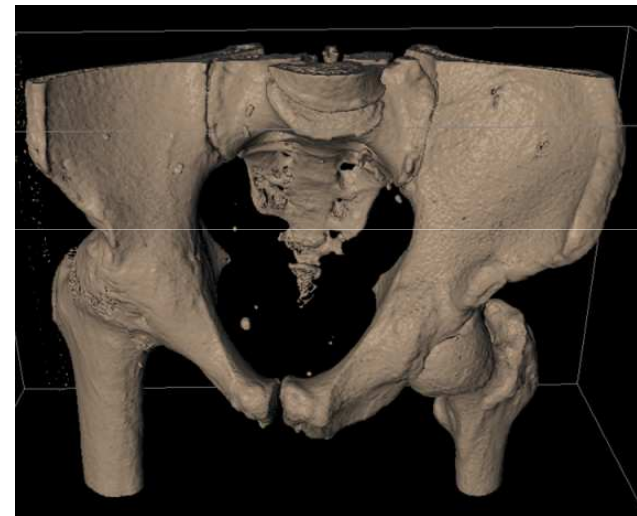
$$\begin{aligned}\text{Diffuse} &= (N, L); \\ \text{Specular} &= (V, R); R = L - 2 \cdot (N, L) \cdot N; \\ \text{Luminance} &= K_a + K_d \cdot \text{Color} \cdot \text{Diffuse} + K_s \cdot \text{Specular}^s\end{aligned}$$

# Изоповерхность

- Место точек, где данные принимают определённое значение L (изозначение)



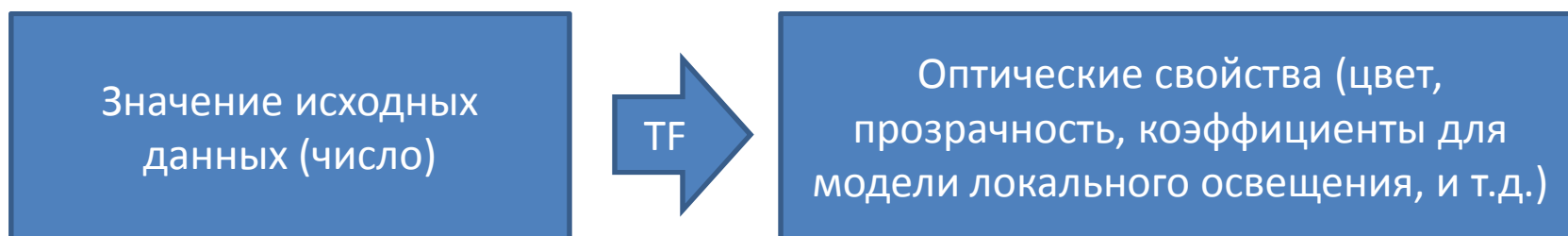
$$F(X,Y,Z) = 2.0 - \cos(X + T * Y) - \cos(X - T * Y) - \cos(Y + T * Z) - \cos(Y - T * Z) - \cos(Z - T * X) - \cos(Z + T * X) = 0$$



Изоповерхность для массива СТ-данных

# Передаточная функция (Transfer Function)

- Любому возможному значению исходных данных ставит в соответствие определённые оптические свойства

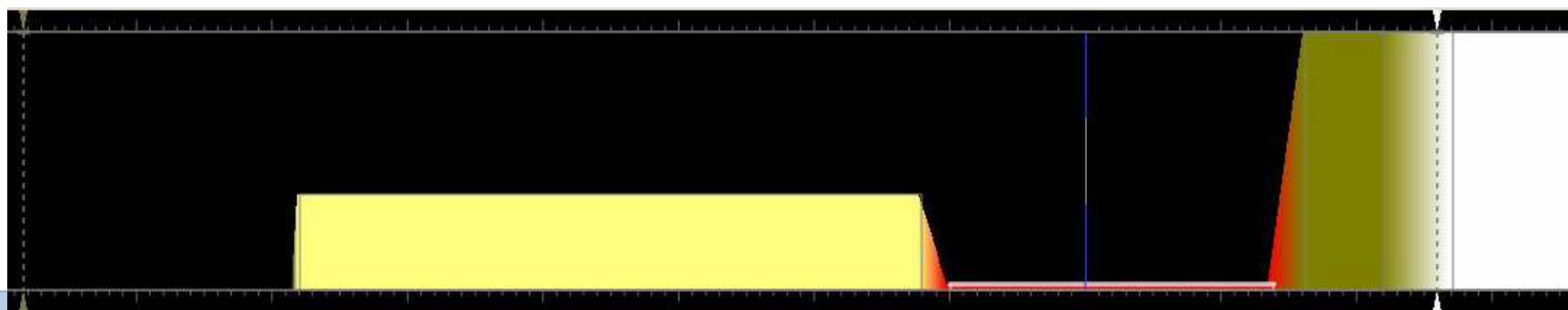
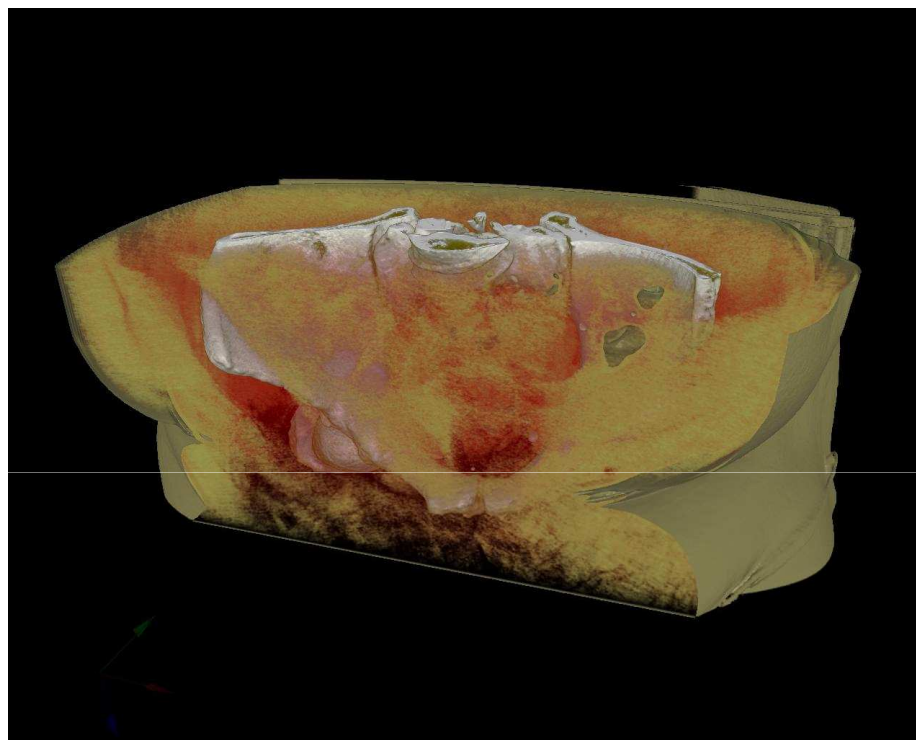


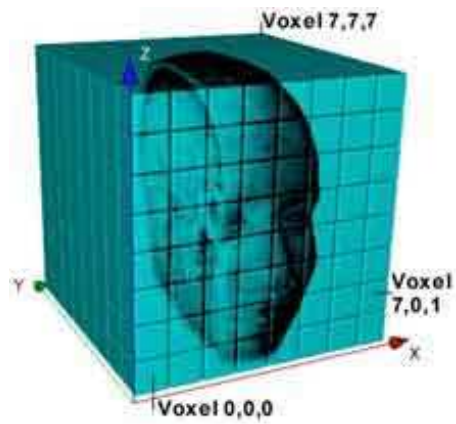
- Можно раскрашивать пространство с данными в соответствии с функцией переноса, в результате получается разноцветные полупрозрачные области



# Комбинация изоповерхностей и полупрозрачной среды (тумана)

Изоповерхности для костей и кожи, область жировой ткани окрашена жёлтым цветом

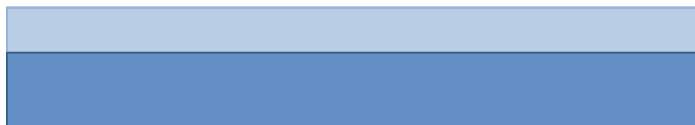
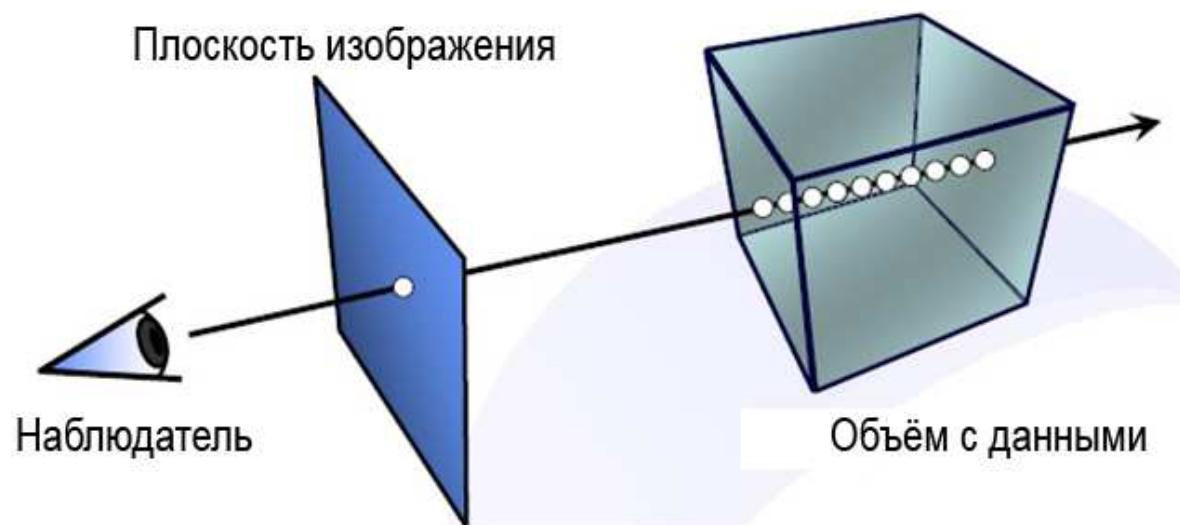
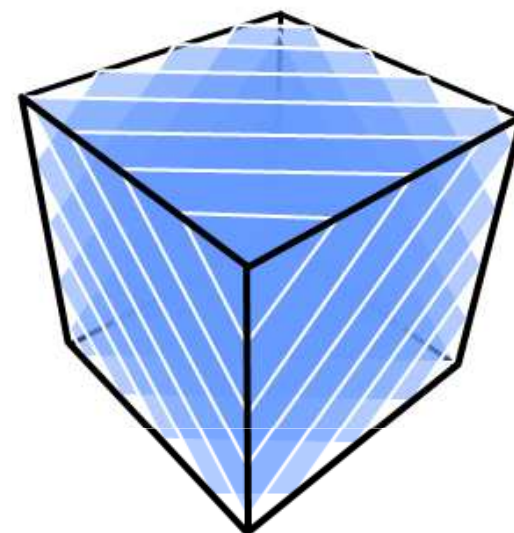




### 3. Техники объёмного рендеринга

# Техники объёмного рендеринга

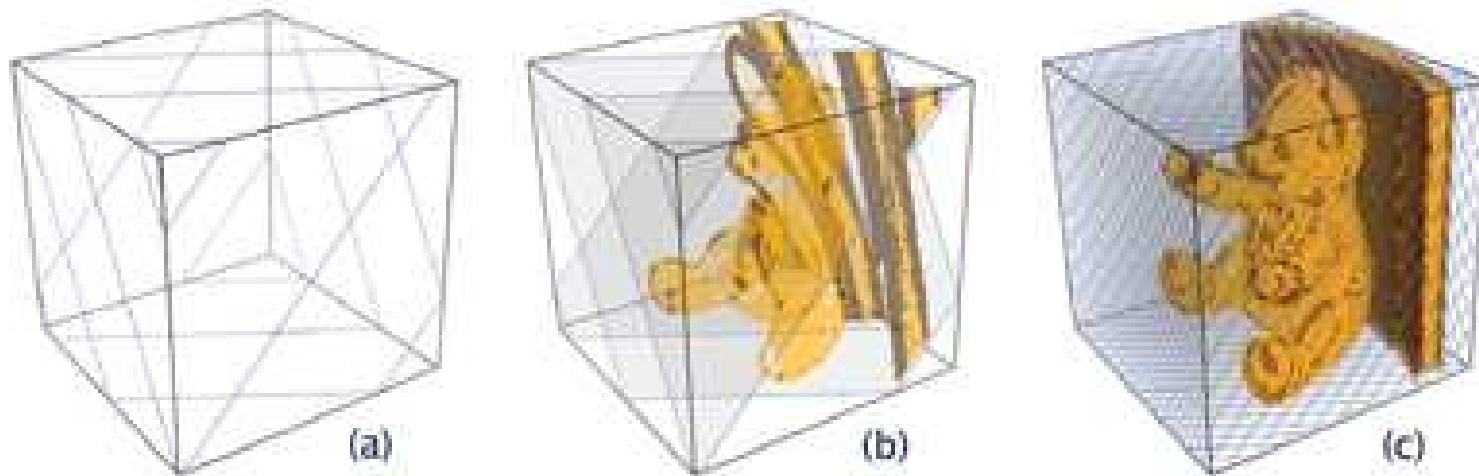
- Метод слоёв
  - Производительность
- **Метод обратной трассировки лучей**
  - Качество
  - Гибкость





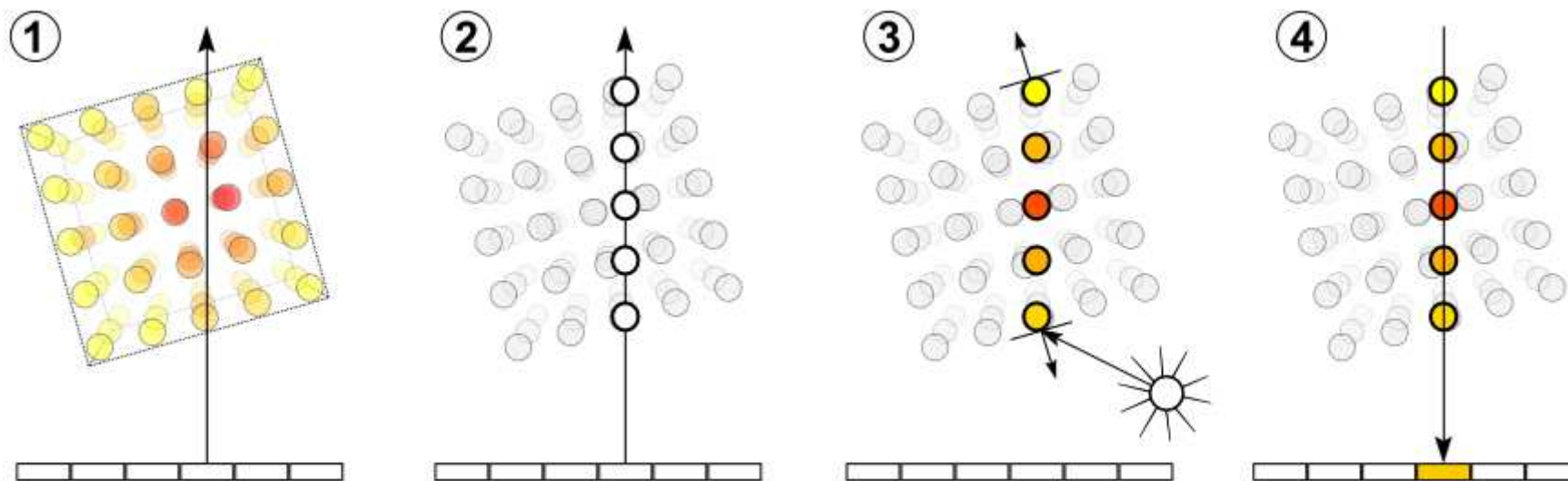
# Метод слоёв: Slice-Based Volume Rendering (SBVR)

- В качестве слоёв (сечений) обычно используются полигоны
- Слои рисуются в обратном для наблюдателя порядке
- Каждый слой закрашивается в соответствии с объёмными данными (например функцией переноса)



# Трассировка лучей (Ray Casting)

1. Генерация луча для каждого пикселя экрана
2. Конечное число шагов вдоль луча
3. Накопление цвета
4. Определение итогового цвета



# Вычисление накопления цвета

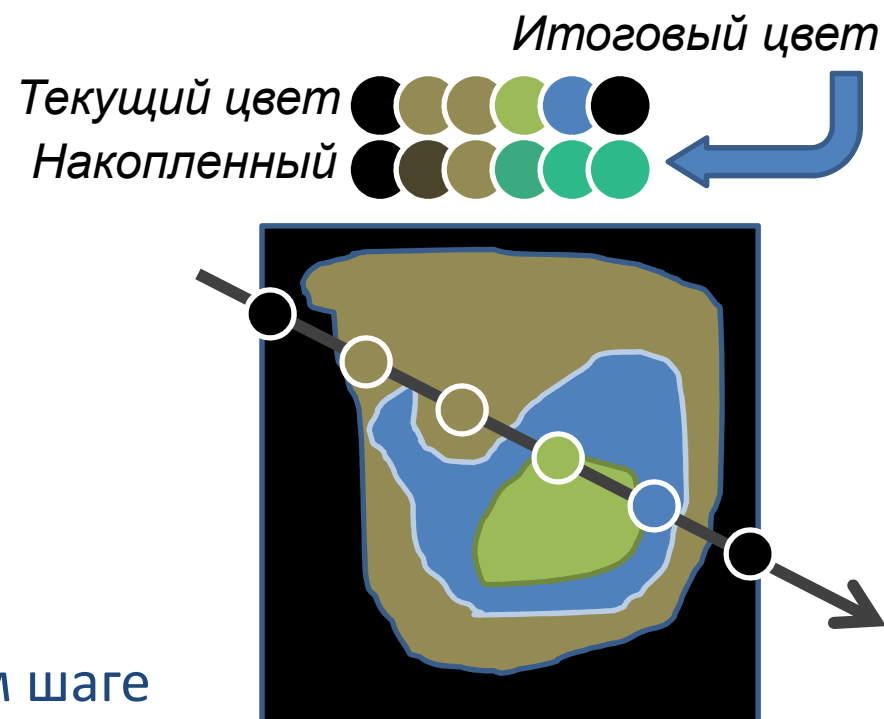
$$C = \sum_{i=1}^n C_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - A_j)$$

—  $C$  — ИТОГОВЫЙ ЦВЕТ

►  $C_i$  — выборка цвета на  $i$ -ом шаге

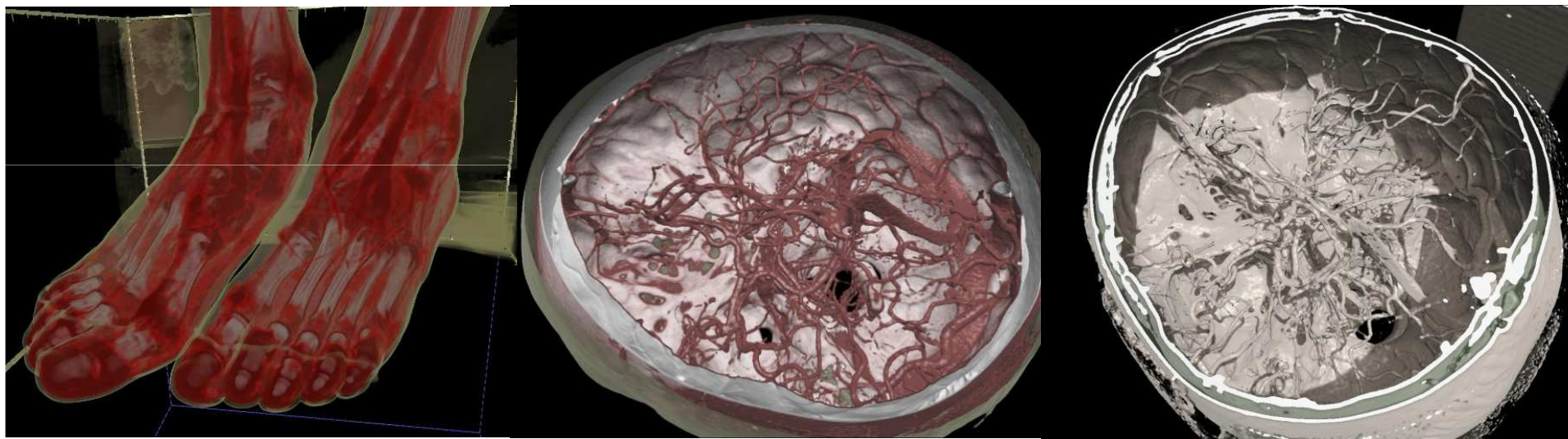
►  $A_j$  — выборка степени непрозрачности на  $j$ -ом шаге

►  $n$  — число шагов луча



# Возможности трассировки лучей

- Визуализация изоповерхностей и полупрозрачных сред (тумана)
- Тени, отражения, преломления



Полупрозрачные среды  
(туман)

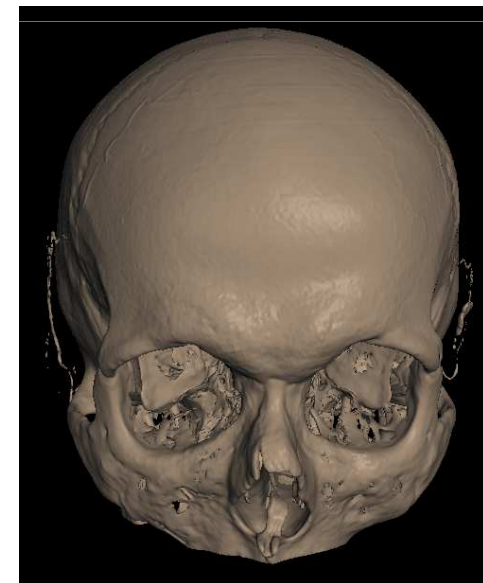
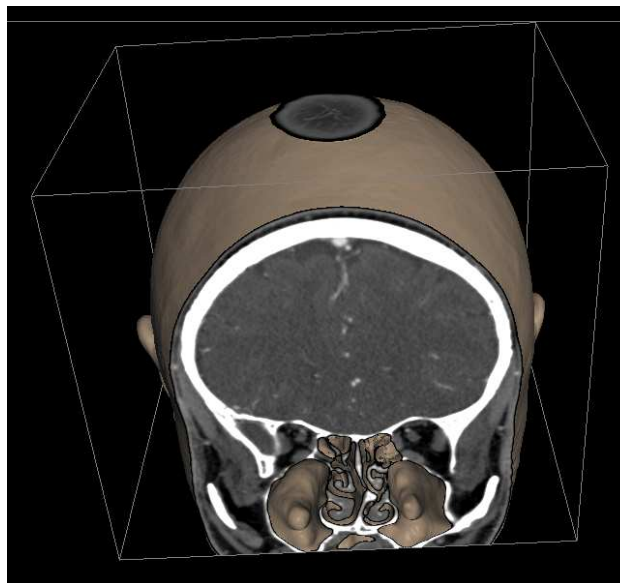
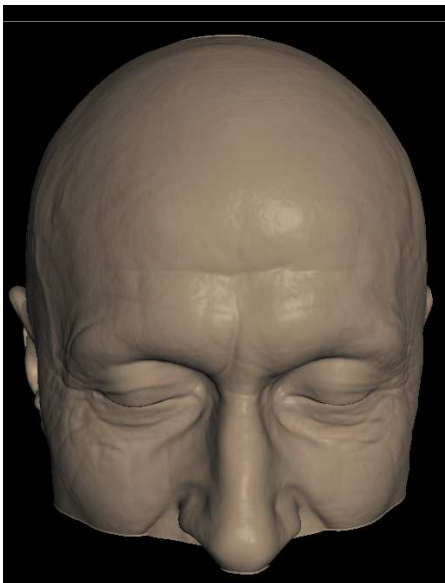
Изоповерхности

Изоповерхность с тенью



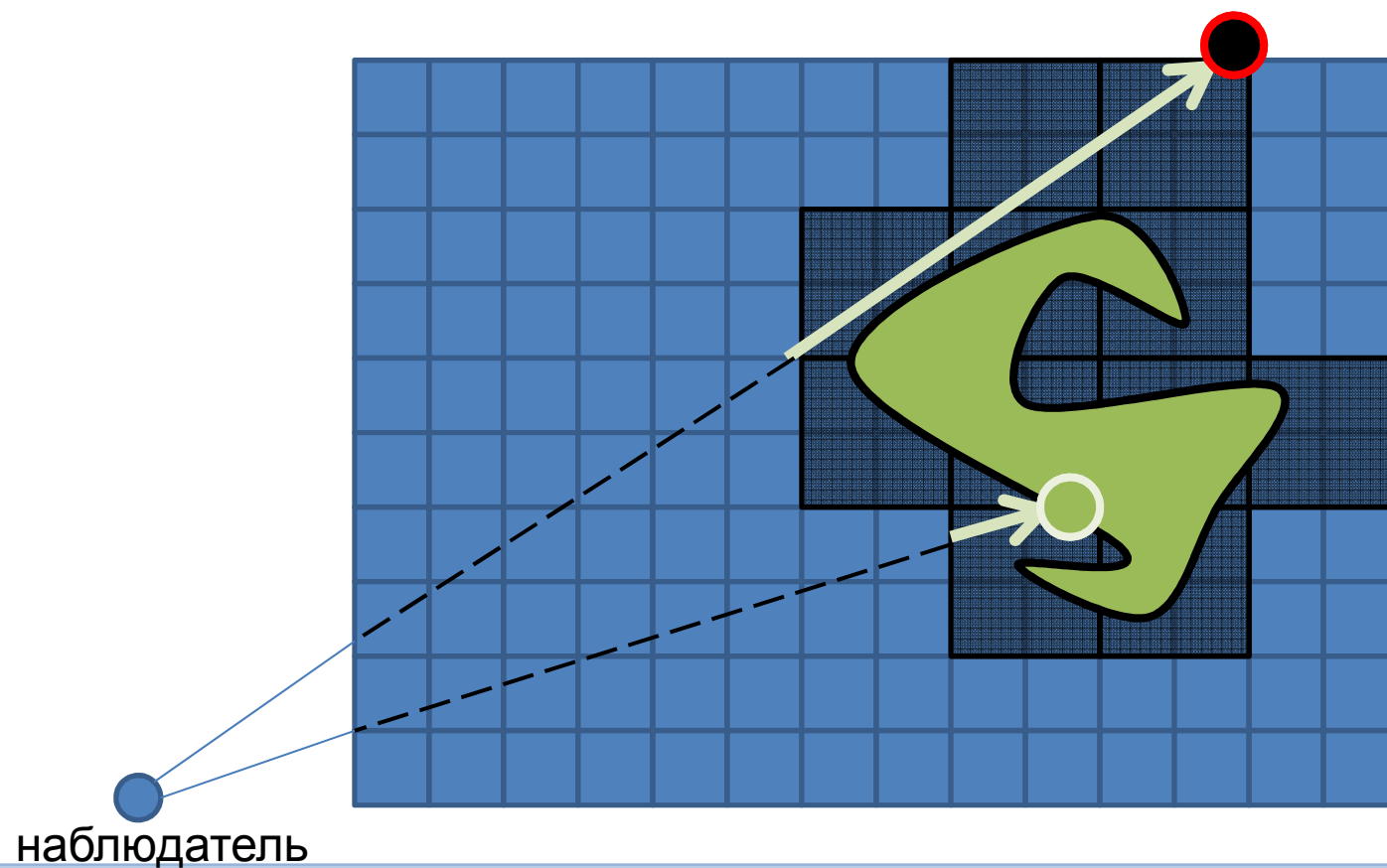
# Проблема производительности

- Типичные СТ-данные имеют размер  $512^3$   
Чем больше данные, тем дольше доступ (загрузка)

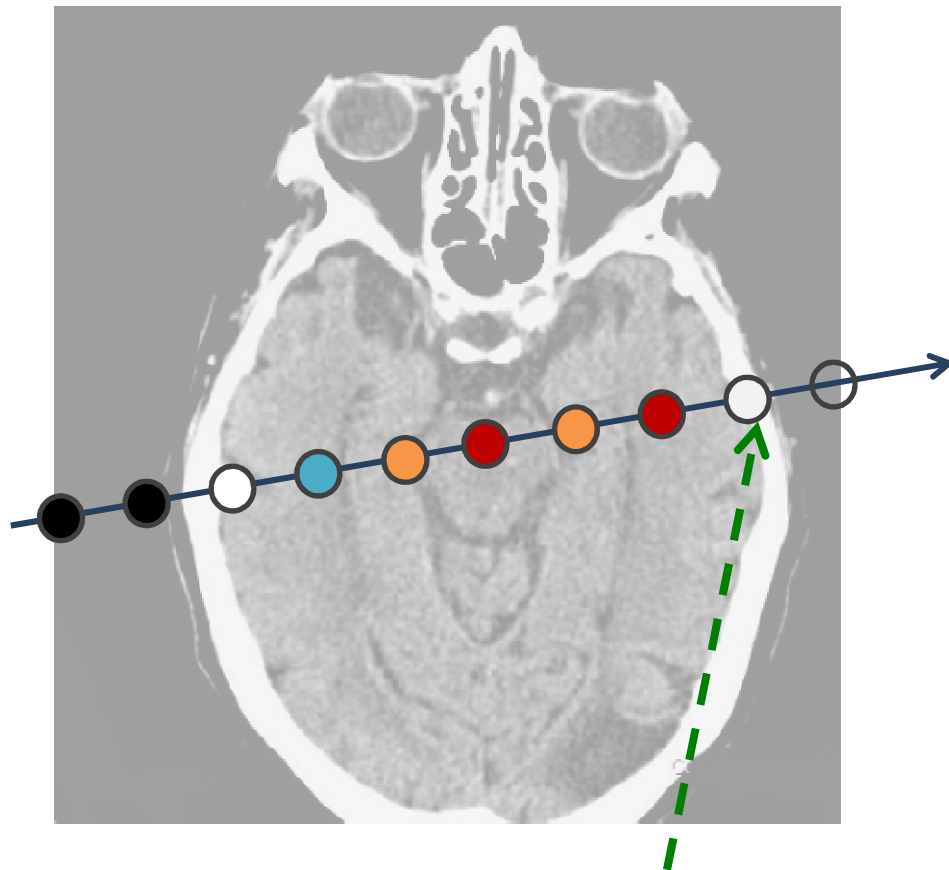


# Ускоряющая структура

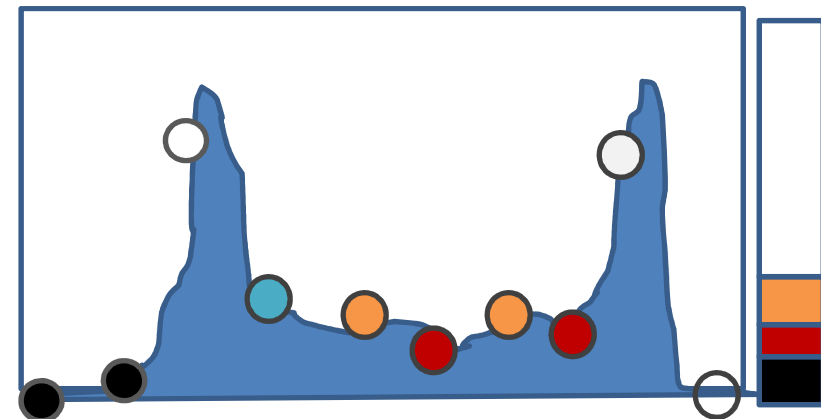
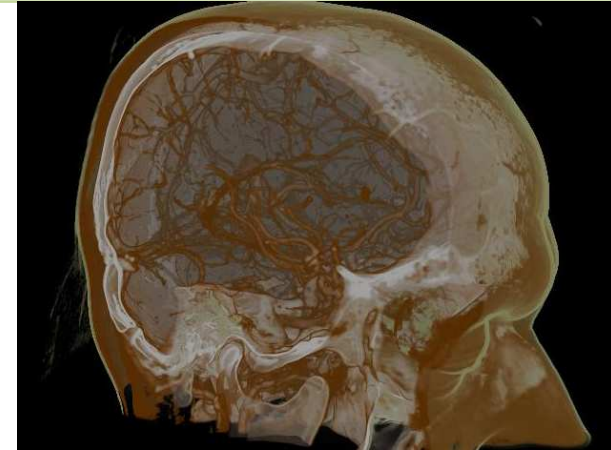
- Луч пропускает “неинтересные” области



# Полупрозрачные среды. Direct Volume Rendering

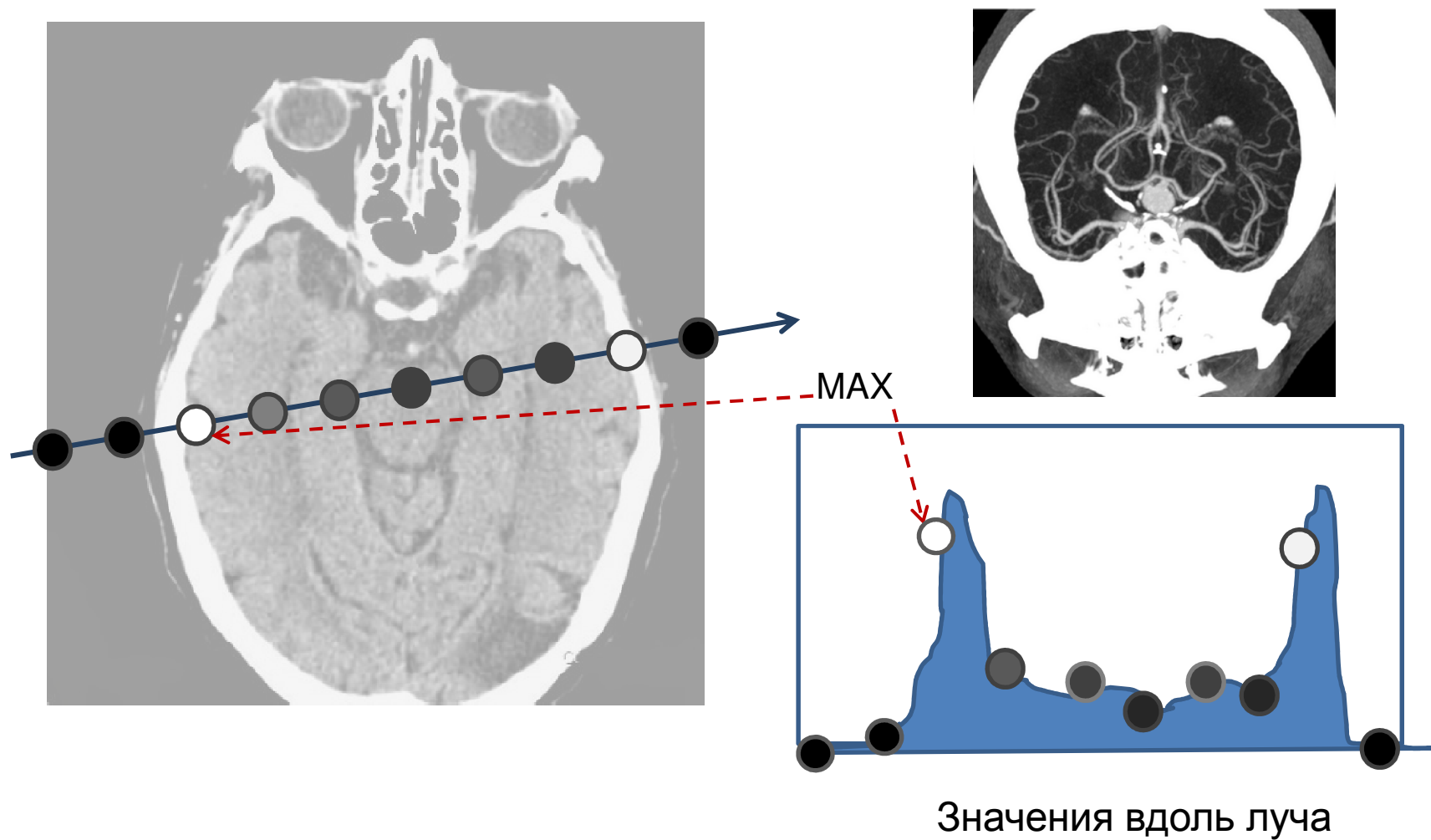


Накопление достаточной непрозрачности



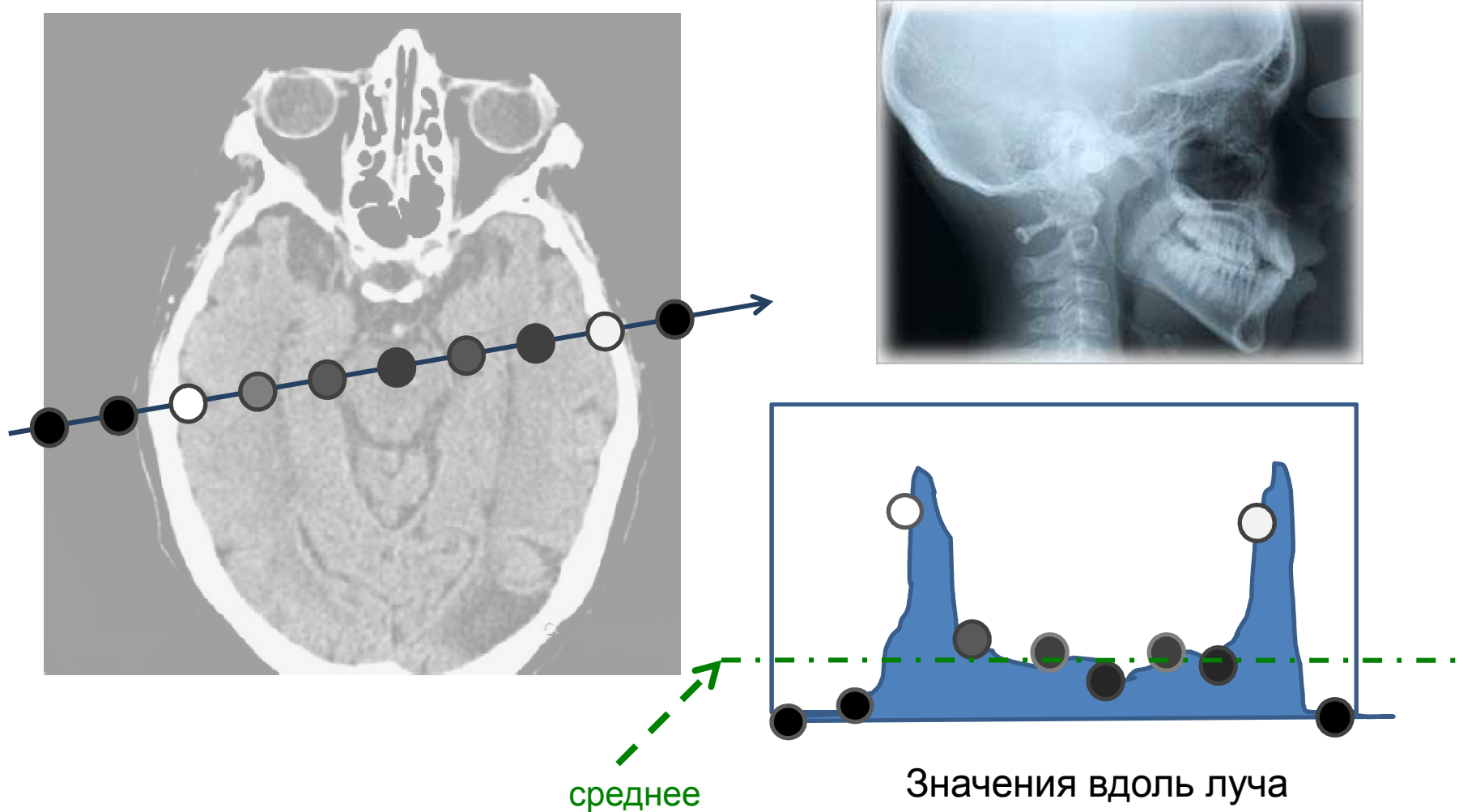
Значения вдоль луча

# MIP (Проекция макс. интенсивности)

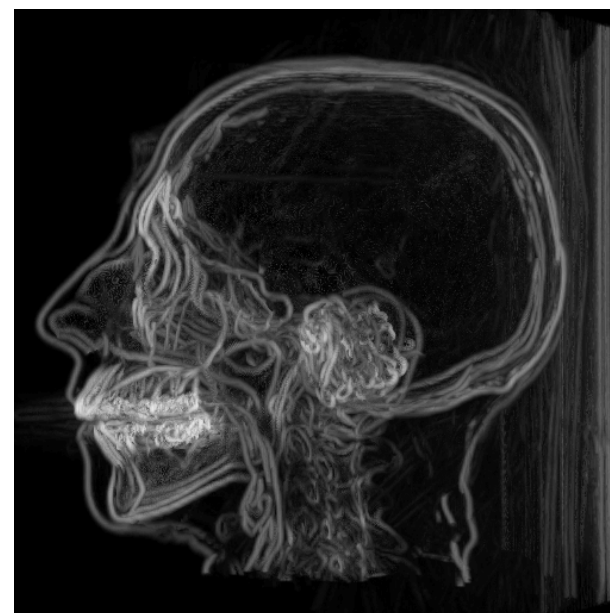
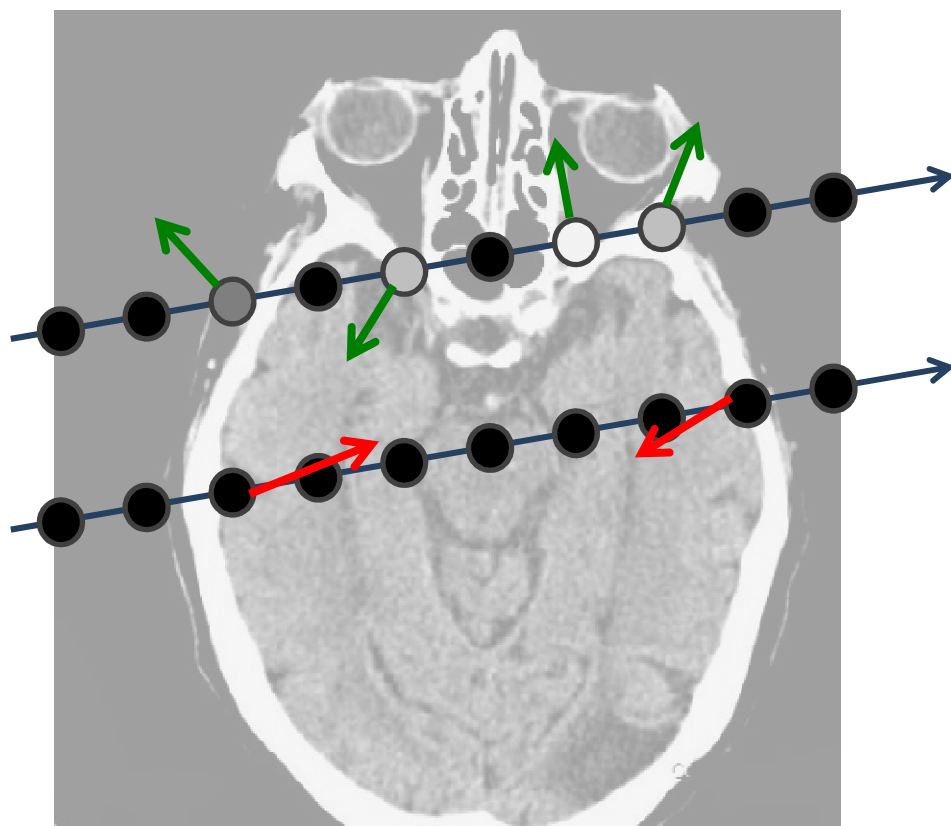




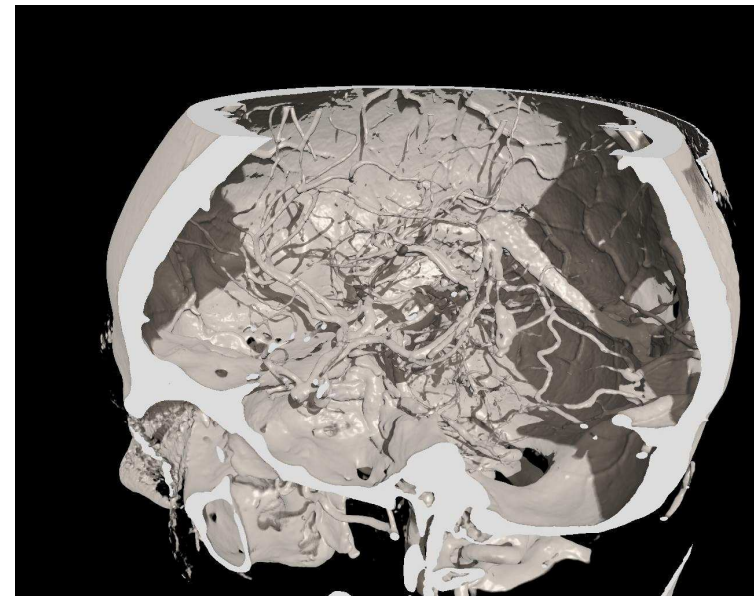
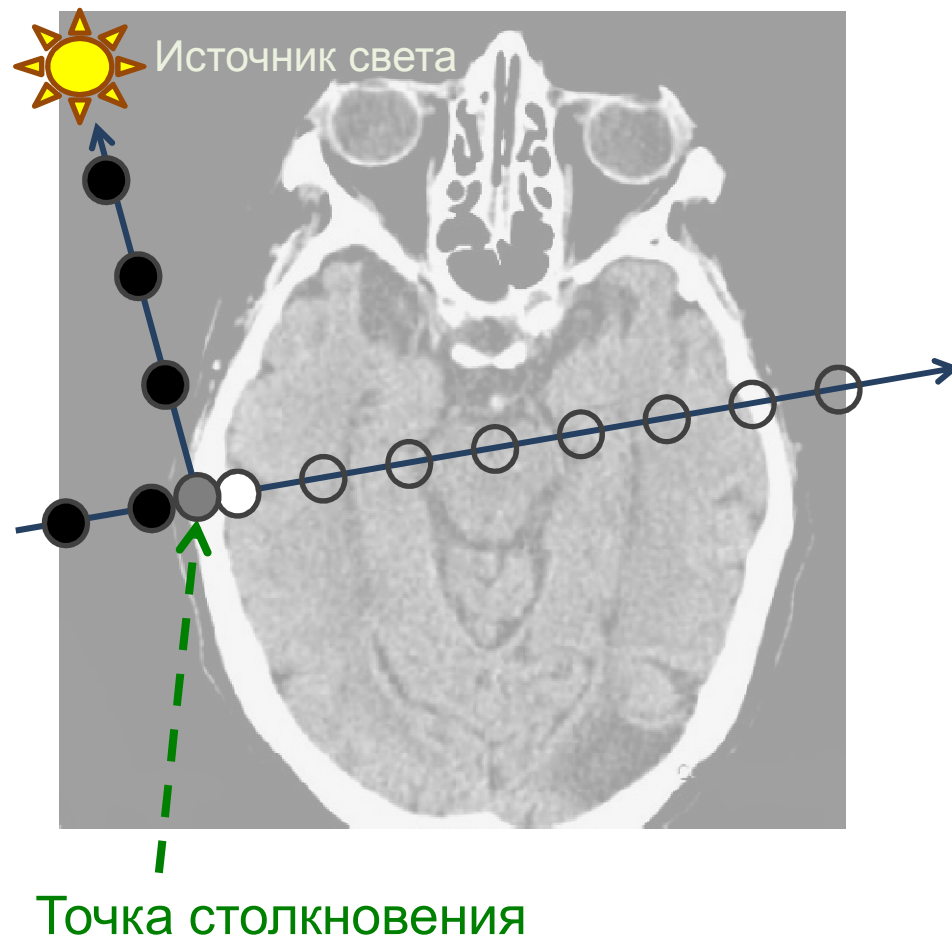
# X-Ray style (ср-е значение, квазирентген)



# Контуры



# Изоповерхность с тенью



[head.fs](#), [обзор шейдеров](#)

[Результаты Volume Rendering](#)