

# Алгоритмические основы мультимедийных технологий

## *Лекция 7*

Рябинин Константин Валентинович

e-mail: [icosaeder@ya.ru](mailto:icosaeder@ya.ru)

jabber: [icosaeder@jabber.ru](mailto:icosaeder@jabber.ru)

*Благодарности:*

**Bartek Skorupa** (Lemon Film Studio, Польша)

**Алексей Шестов,**  
**Александр Воронов,** (ВМК МГУ, Россия)  
**Дмитрий Ватолин**

Пермь, 2012

**Стереοизοбразение** — это изображение, которое, являясь плоским, создаёт у наблюдателя эффект объёмного восприятия, то есть передаёт протяжённость пространства и рельефность, свойственные реальным объектам

**Сетереоскопическая визуализация** — это построение и демонстрация стереοизοбразений

**Области применения стереоскопической визуализации:**

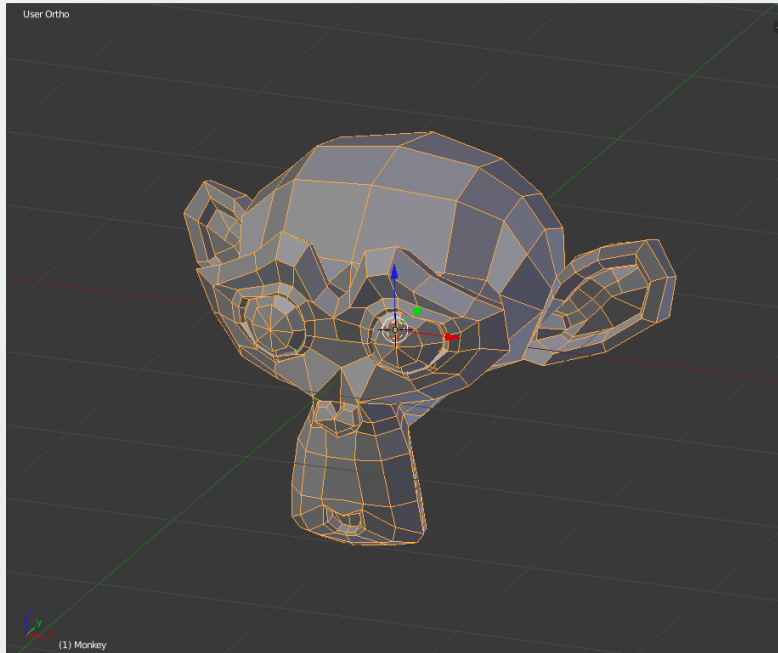
- Индустрия развлечений: кино и видеоигры
- Симуляция среды и условий
- Научные визуализации









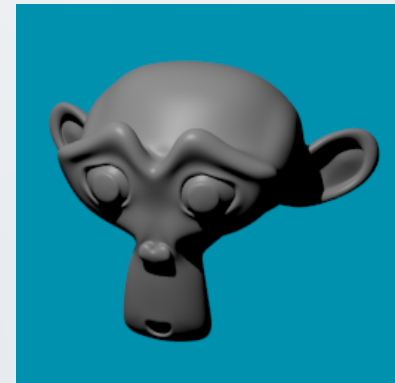


## 3D-изображение

Математическая модель  
трёхмерной сцены



левый кадр



правый кадр

## Стереопара

Две **двумерных** картинки,  
изображающих сцену с  
различных ракурсов





**Стереo**

**3D**



**Вопросы относительно 3D- и стереоизображений, требующие решения**

- **Как создавать?**
- **Как хранить?**
- **Как отображать?**

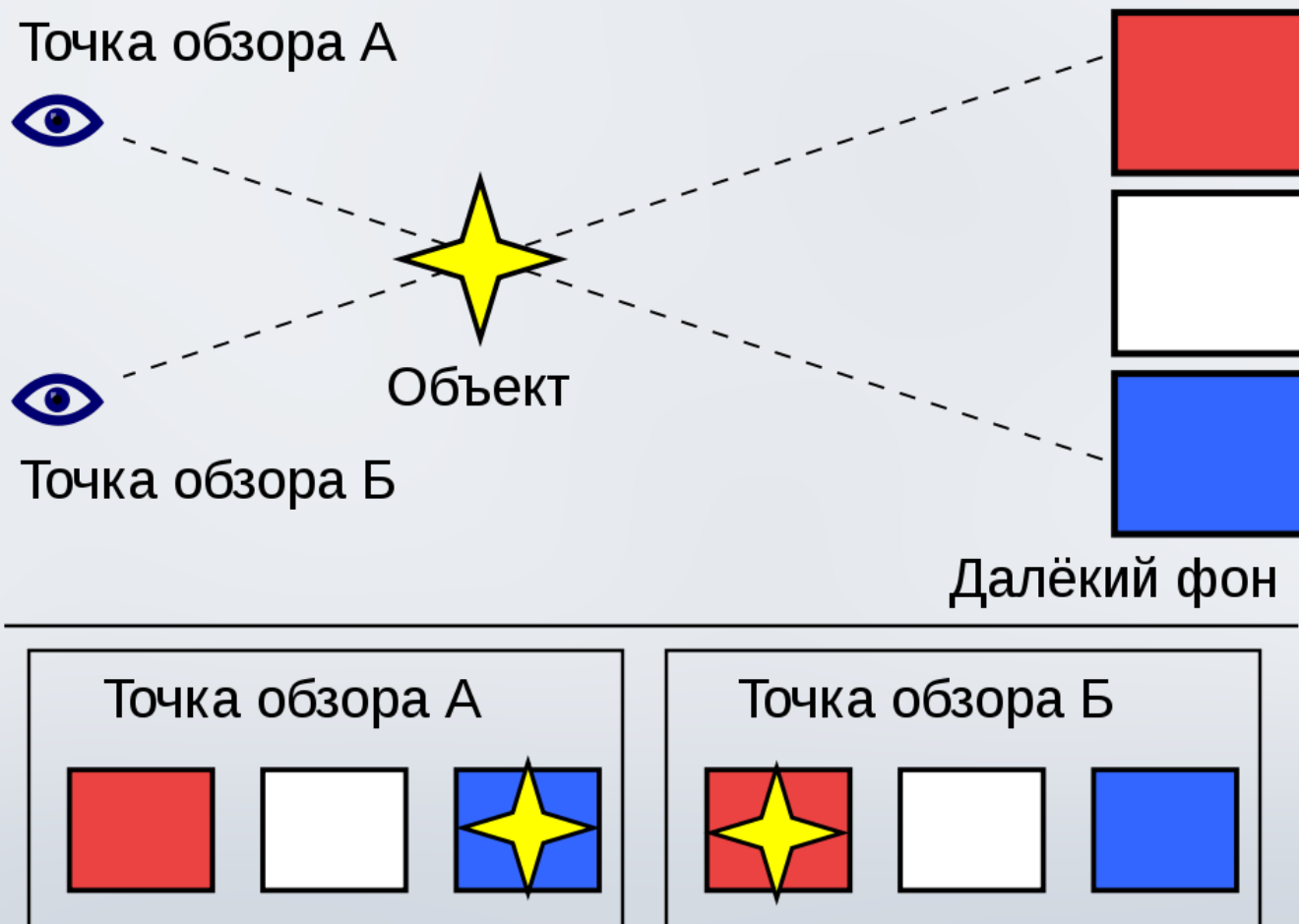
Создание качественного стереоизображения – не такая простая задача, даже в кинематографии мирового уровня далеко не всегда находящая решение

Основные проблемы:

- Камеры и глаза человека – **абсолютно** разные вещи
- Теоретические результаты далеко не всегда совпадают с практическими, так как определяющим является **субъективное восприятие человека**
- Математическое моделирование и расчёт стереоскопического эффекта оказывается весьма нетривиальной задачей
- Много строится на эвристиках и экспериментировании

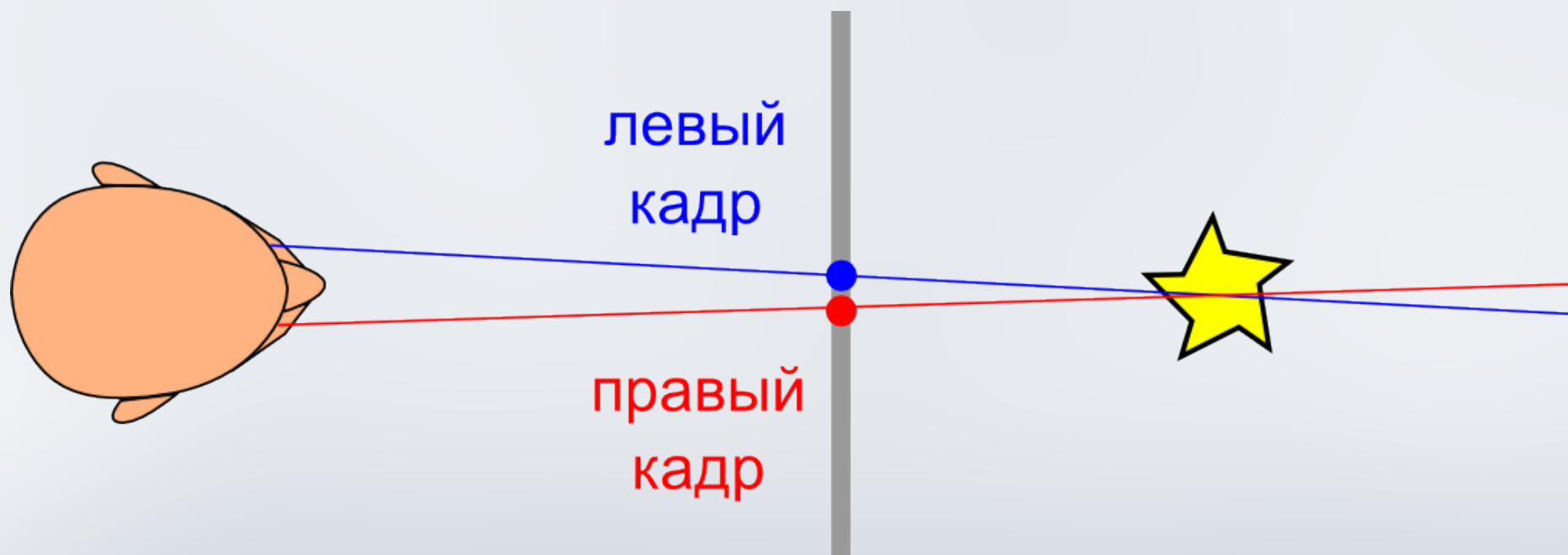


**Параллакс – изменение видимого положения объекта относительно удалённого фона в зависимости от положения наблюдателя**



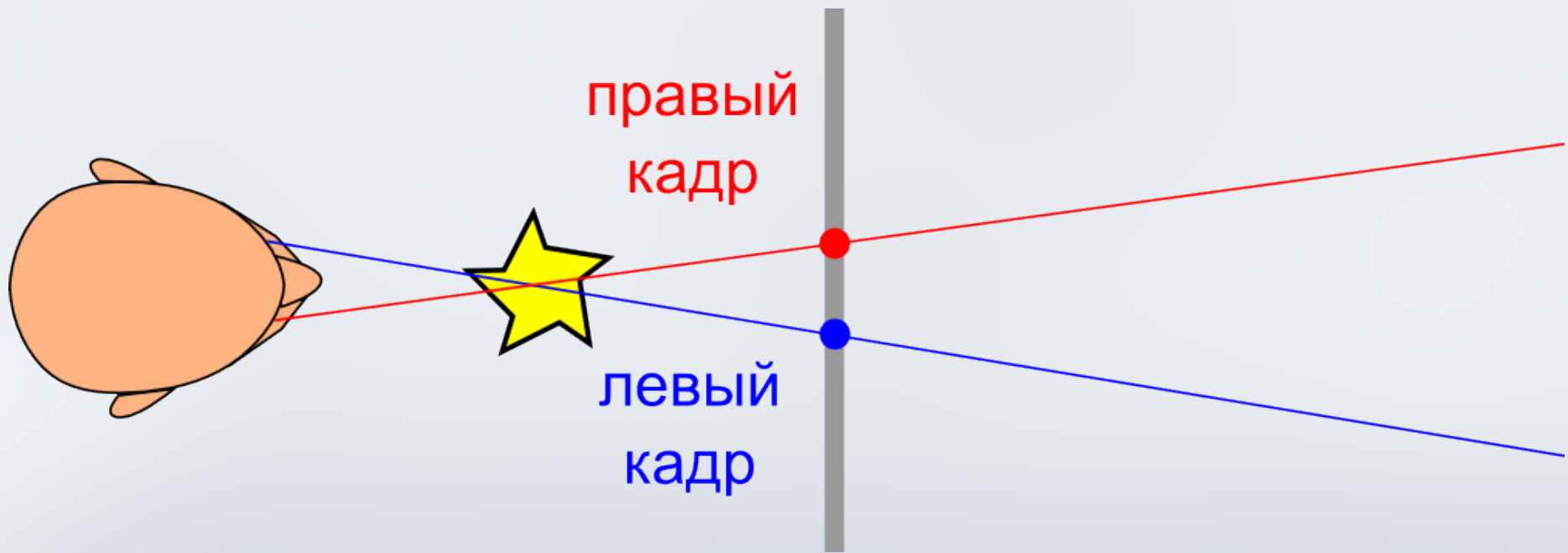
Положительный параллакс – левый кадр находится **слева** от правого кадра

В этом случае точка пересечения осей взгляда глаз человека лежит **за** плоскостью экрана



Отрицательный параллакс – левый кадр находится **справа** от правого кадра

В этом случае точка пересечения осей взгляда глаз человека лежит **перед** плоскостью экрана



- Если отрицательный параллакс равен по модулю расстоянию между глазами человека, объект воспринимается находящимся на «полпути» от экрана к человеку
- Если положительный параллакс равен расстоянию между глазами человека, объект воспринимается находящимся в бесконечности (далеко за экраном)
- Параллакс и воспринимаемая удалённость объекта связаны сложной экспоненциальной зависимостью
- Параллакс играет в основном вторичную роль в восприятии расстояния. Определяющими для человека являются
  - Перекрытия
  - Перспективные искажения
  - Глубина резкости
- Кроме этого, существует параллакс движения – при перемещении наблюдателя дальние объекты движутся медленнее ближних



Восприятие расстояния легко обмануть



Восприятие расстояния легко обмануть



- Большой отрицательный параллакс означает сильное сведение (конвергенцию) глаз



- Большой положительный параллакс означает разведение (дивергенцию) глаз



=> положительный параллакс не должен превышать расстояния между зрачками человека;  
среднестатистический человек в состоянии развести глаза не более, чем на  $1^\circ$

- **Размер параллакса, соотносимого с расстоянием между зрачками человека (~65 мм), зависит от размера экрана**
- **Для примера:**
  - Пусть кадр формата 2K (2048x1556) имеет параллакс в 20 пикселей (~1% размера)
  - Экран в 1 метр (широкоформатный телевизор) будет отображать параллакс в 10 мм
  - Экран в 10 метров (экран кинотеатра) будет отображать параллакс в 100 мм (уже больше, чем расстояние между зрачками)
  - Экран в 25 метров (экран в imax-кинотеатре) будет отображать параллакс в 250 мм
- **Однако расстояние от человека до экрана компенсирует дивергенцию**



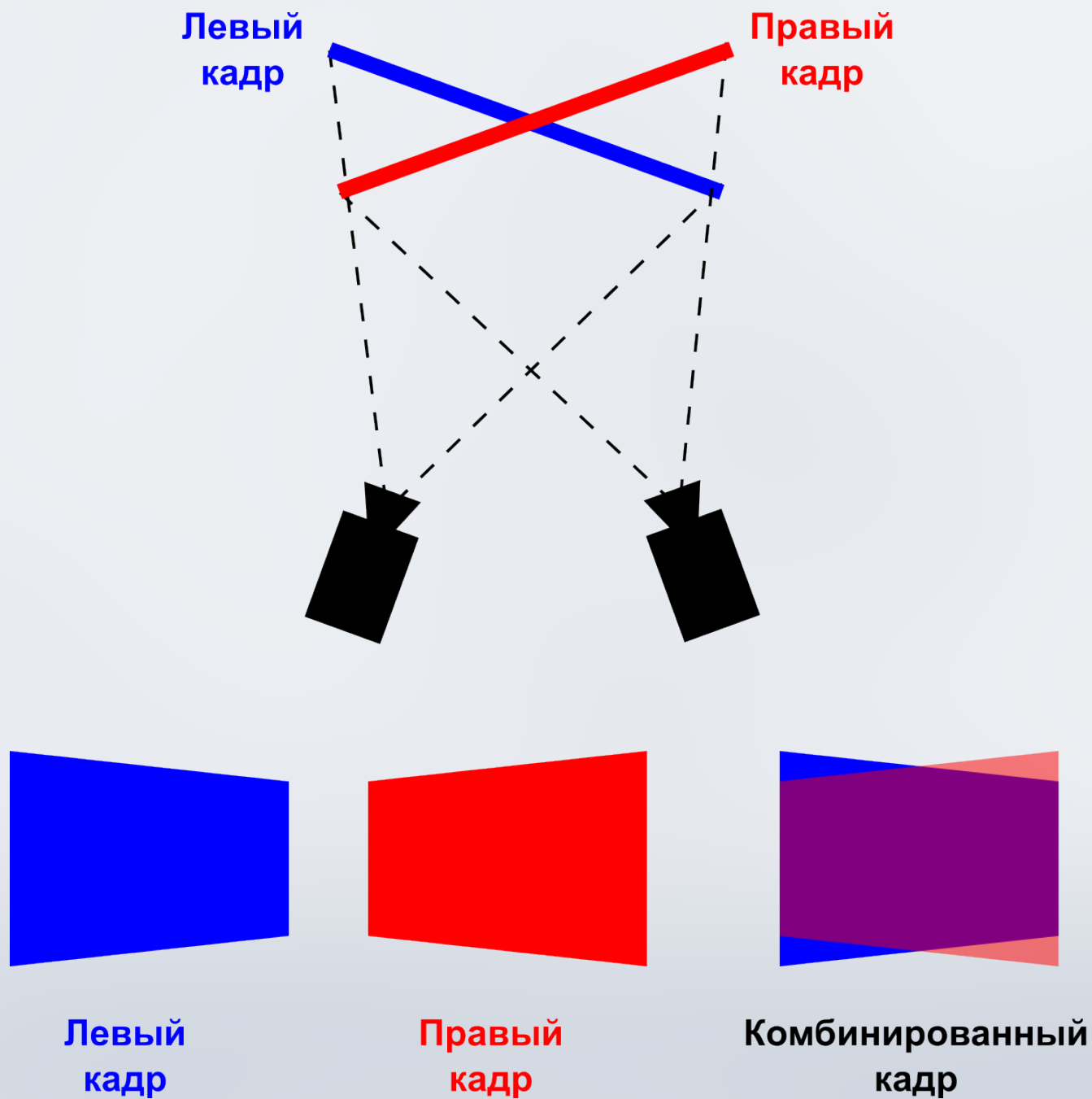
- Экспериментально определено, что безопасное значение (для кадра формата 2K)
  - положительного параллакса:  
12 пискелей  
(в ряде случаев можно увеличивать до 31 пикселя)
  - отрицательного параллакса:  
15 пикселей

- Важными понятиями в стереоскопии являются
  - Диапазон глубин (depth budget) – максимальное значение положительного и отрицательного параллакса, то есть параллаксы потенциально самой ближней и самой дальней точек
    - Рекомендуемое значение: -15 .. +13 пикселей
  - Дельта глубин (depth bracket) – разность между максимальным и минимальным значением положительного и отрицательного параллакса, по факту встречающихся на сцене (значения должны вписываться в диапазон глубин)
    - Рекомендуемое значение: 14 пикселей

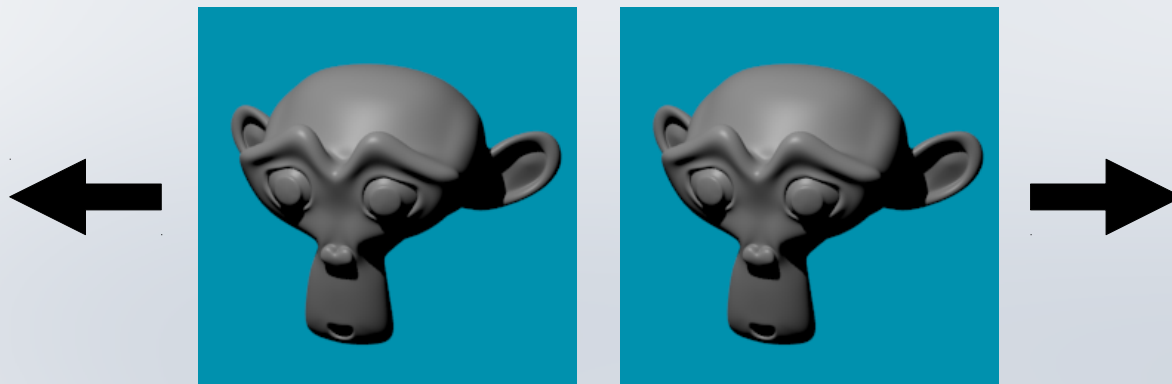
- Важными понятиями в стереоскопии являются
  - Позиция глубин (depth position) – область пространства, объекты в которой вписываются в дельту глубин, например области с параллаксом
    - -14 .. 0
    - -4 .. +10
    - 0 .. +14

- **Позицией глубин можно управлять, сводя камеры под разными углами**
  - **Если точка пересечения осей взгляда камер совпадает с ближайшей точкой сцены, ближайшие объекты будут восприниматься лежащими на экране, а все остальные – за экраном**
  - **Если точка пересечения ближе ближайшей точки сцены, все объекты будут восприниматься лежащими за экраном**
  - **Если точка пересечения дальше ближайшей точки сцены, ближайшие объекты будут восприниматься лежащими перед экраном**
- **Однако сведение камер влечёт за собой эффект трапеции (keystoning problem)**





- Камеры должны оставаться параллельными
- Однако в этом случае объекты всегда будут восприниматься находящимися перед экраном, вне зависимости от их фактической удалённости (так как точка пересечения осей взгляда камер определяет восприятие положения экрана, в случае параллельных камер экран оказывается в бесконечности)
- Для достижения восприятия объектов за экраном необходимо раздвигать полученные картинки искусственно, на этапе постобработки



Чем больше такое смещение, тем дальше объект воспринимается

- Таким образом, позиция глубины **может** быть изменена на этапе постобработки
- При этом позиция глубины **не влияет** на дельту глубин
- Дельта глубин **не может** быть изменена на этапе постобработки
- На дельту глубин действуют
  - Расстояние до ближней точки сцены
  - Расстояние до дальней точки сцены
  - Размер экрана
  - Фокусное расстояние камеры
  - Стереο-база (расстояние между камерами)

- Максимальный (комфортный) размер стерео-базы:
  - Расстояние до ближней точки ↑
    - Размер стерео-базы ↑
  - Расстояние до дальней точки ↑
    - Размер стерео-базы ↓
  - Размер экрана ↑
    - Размер стерео-базы ↑
  - Фокусное расстояние камеры ↑
    - Размер стерео-базы ↓



- Существуют способы аналитического определения максимального комфортного размера стерео-базы:

- **Формула Джона Берковица**

$$Base = \delta \cdot \frac{Far \cdot Near}{Far - Near} \cdot \left( \frac{1}{Focus} - \frac{Far + Near}{2 \cdot Far \cdot Near} \right)$$

- **Уравнение Франка Ди Марцио**

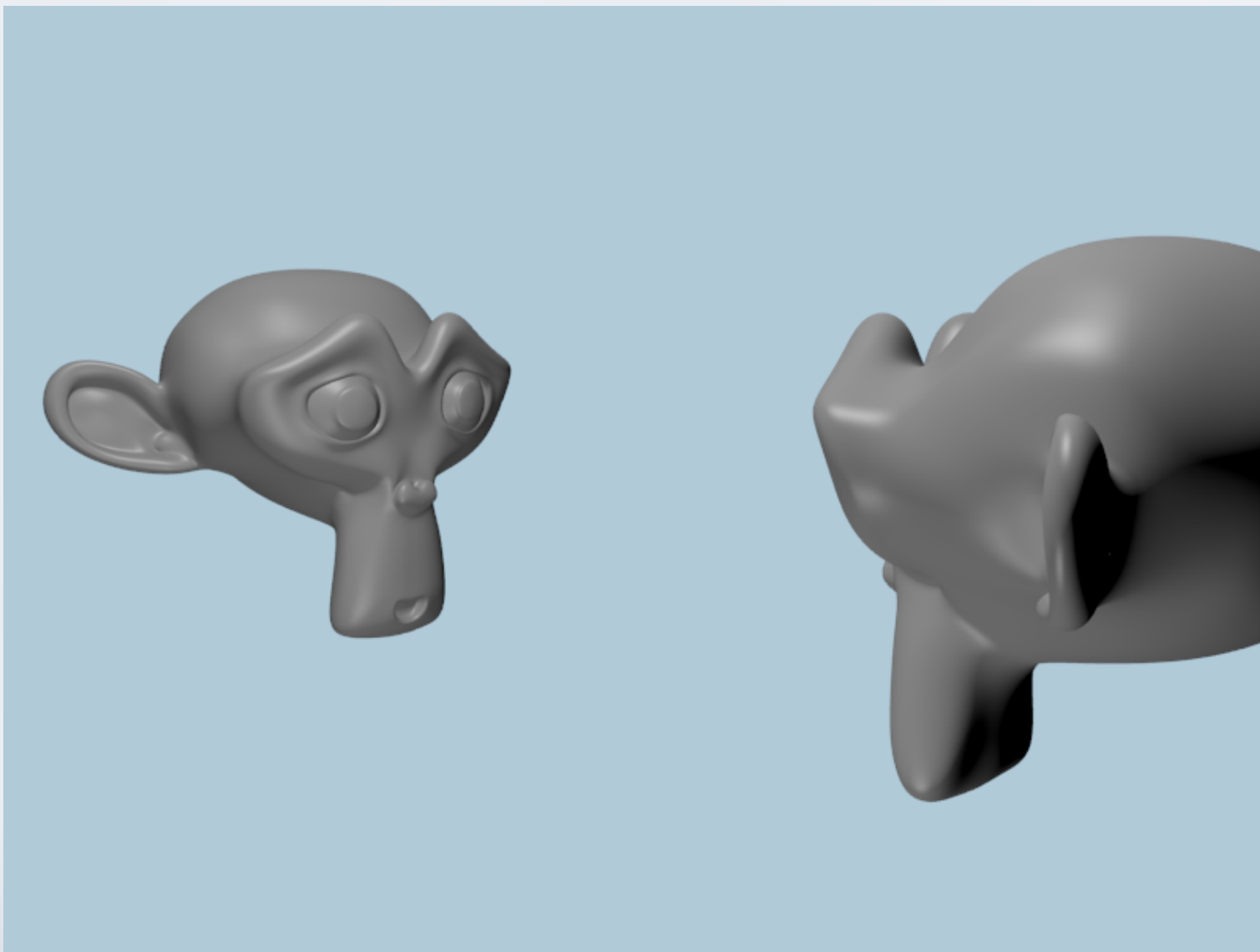
$$Base = \delta \cdot \frac{Far \cdot Near}{Far - Near} \cdot \left( \frac{1}{Focus} - \frac{1}{Width} \right)$$

- **Формула Пьера Мондра**

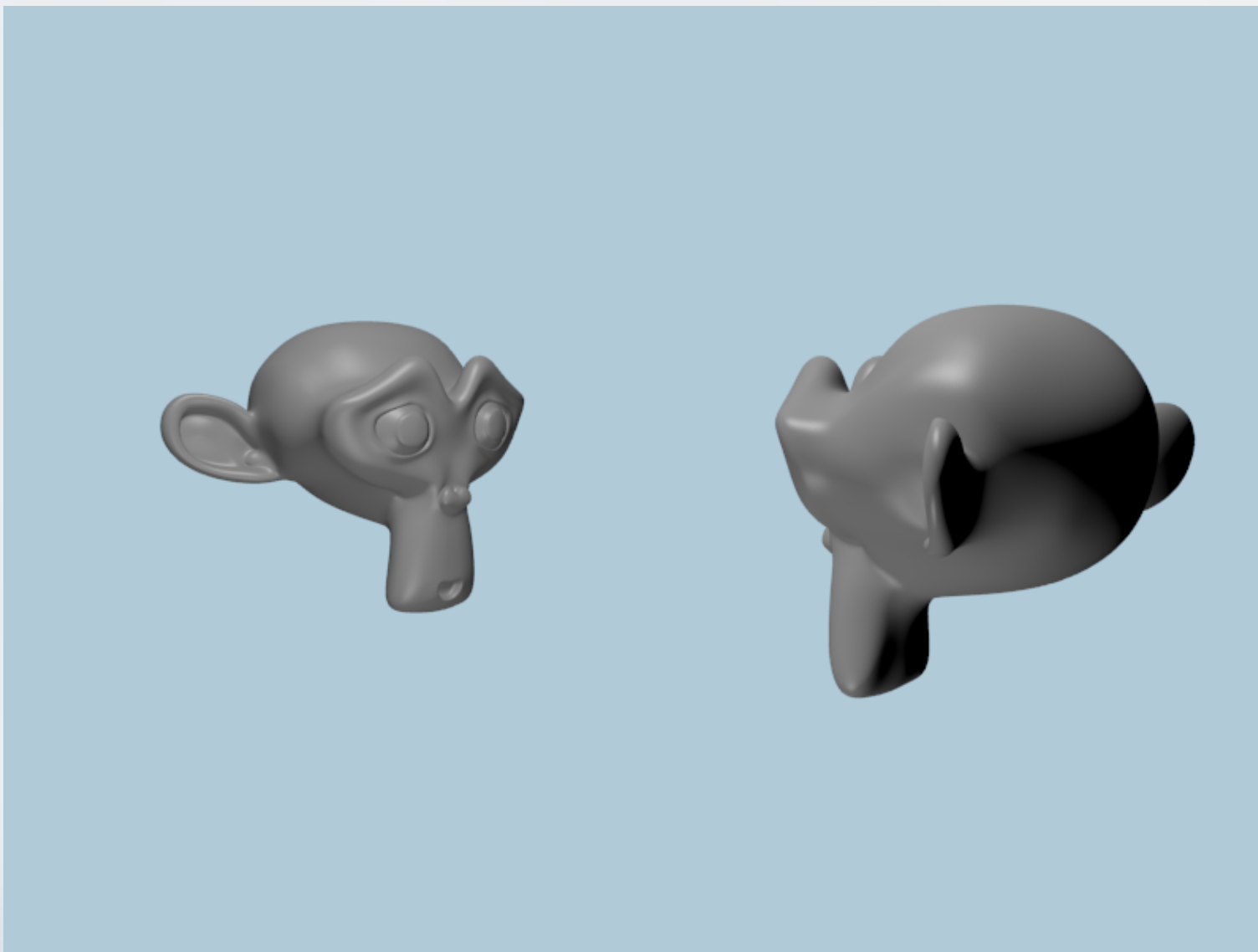
$$Base = \frac{\delta}{Focus} \cdot \frac{Near \cdot Far}{Far - Near}$$

- **Более простой (но и значительно более грубый) приём – правило 1/30**

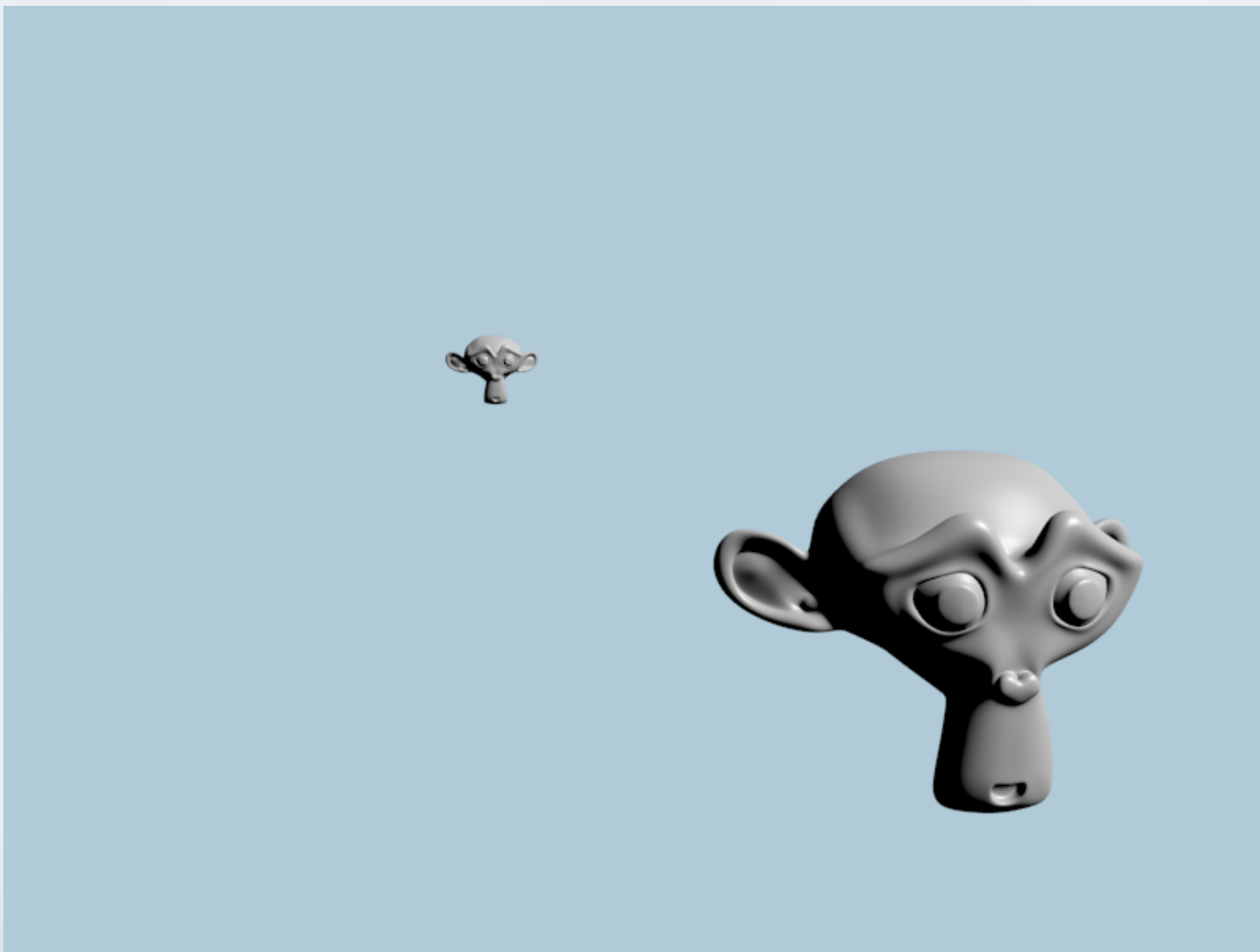
$$\frac{Base}{Near} = \frac{1}{30}$$



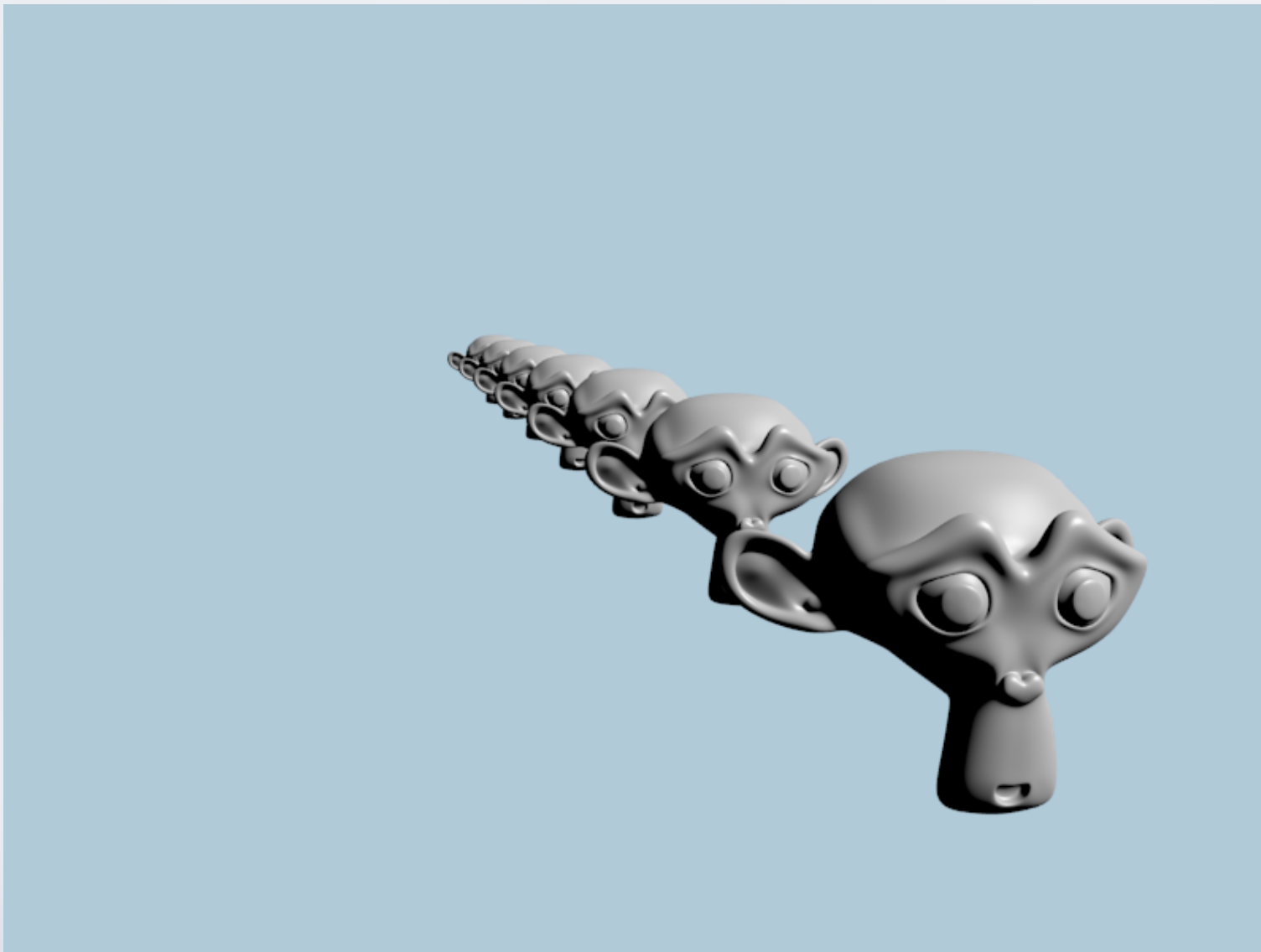
**Плохо,**  
так как объект переднего плана обрезается границей экрана



Хорошо



**Плохо,**  
много пустого пространства, воспринимаемая объёмность сцены теряется

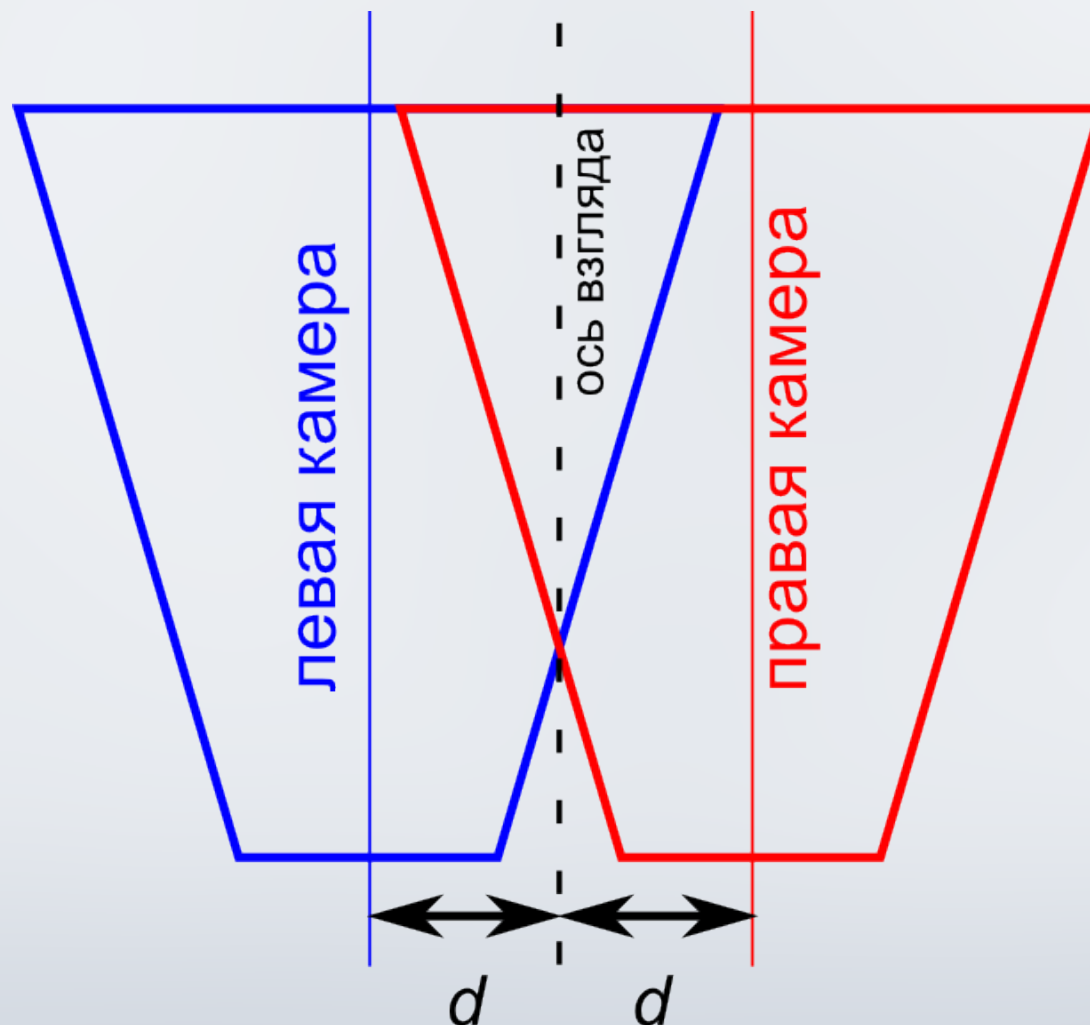


Хорошо

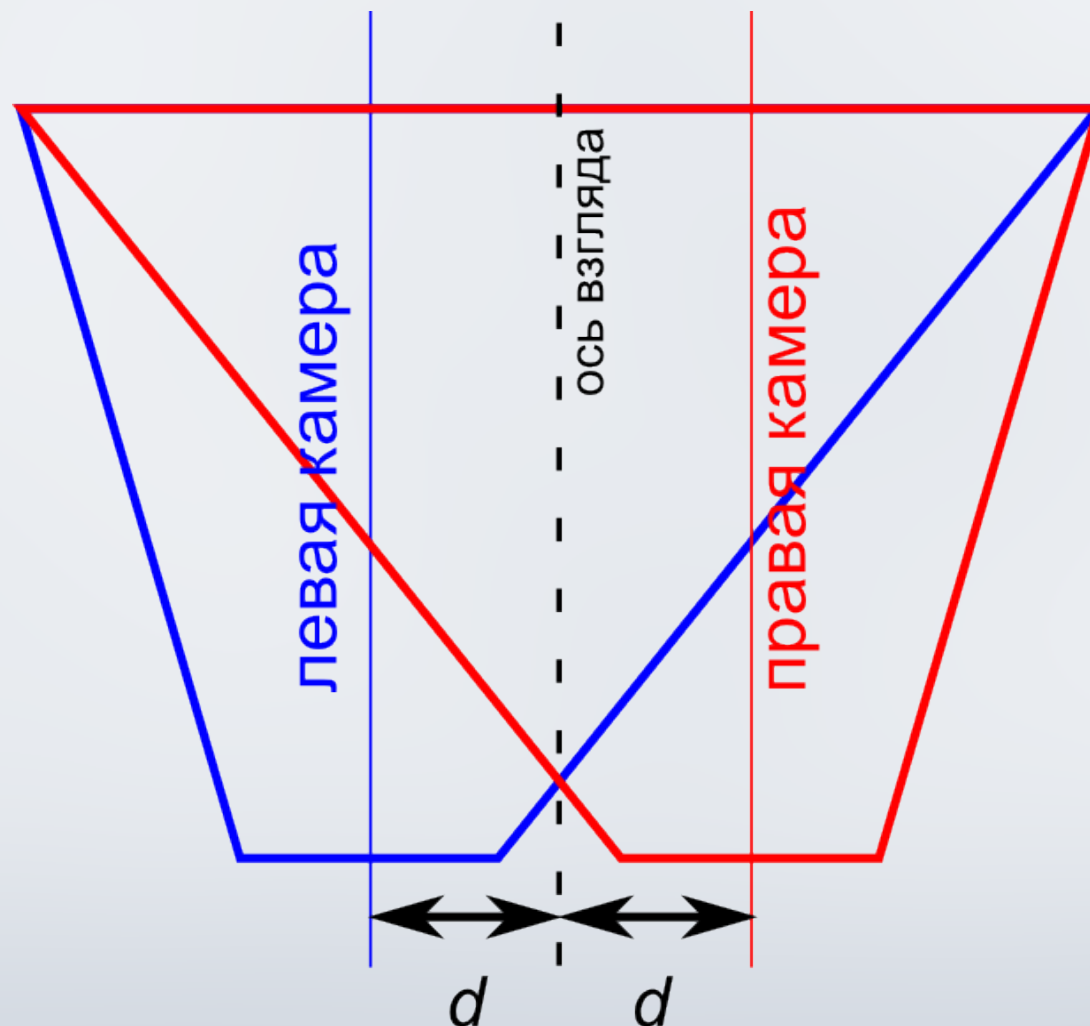


- Даже в профессиональных стереоскопических работах (современных стерео-фильмах) от случая к случаю присутствуют ошибки
  - Разная яркость и цветность кадров стереопары
  - Разный фокус в кадрах стереопары
  - Вертикальный сдвиг кадров стереопары
  - Разное содержимое (!!!) в кадрах стереопары
  - Кадры стереопары перепутаны местами
- Не должно быть слишком много сцен с большим отрицательным параллаксом
- Глубина сцен должна быть выровнена в соответствии с диапазоном глубин, позицией глубины и дельтой

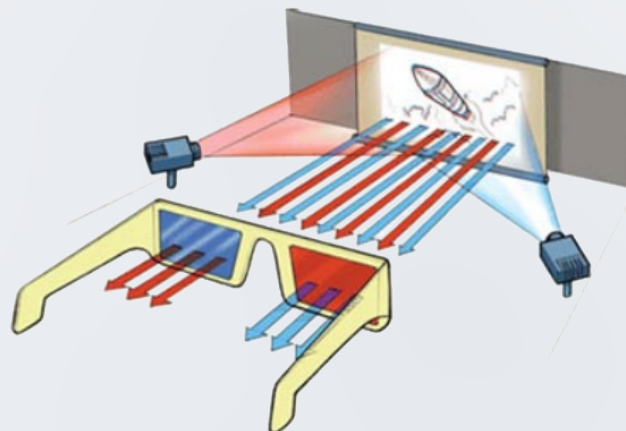
## Подход на основе параллельных камер



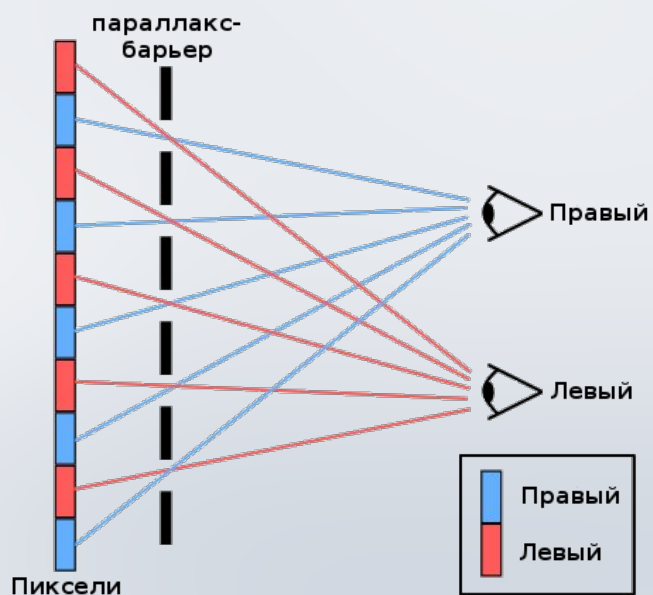
## Подход на основе асимметричных камер



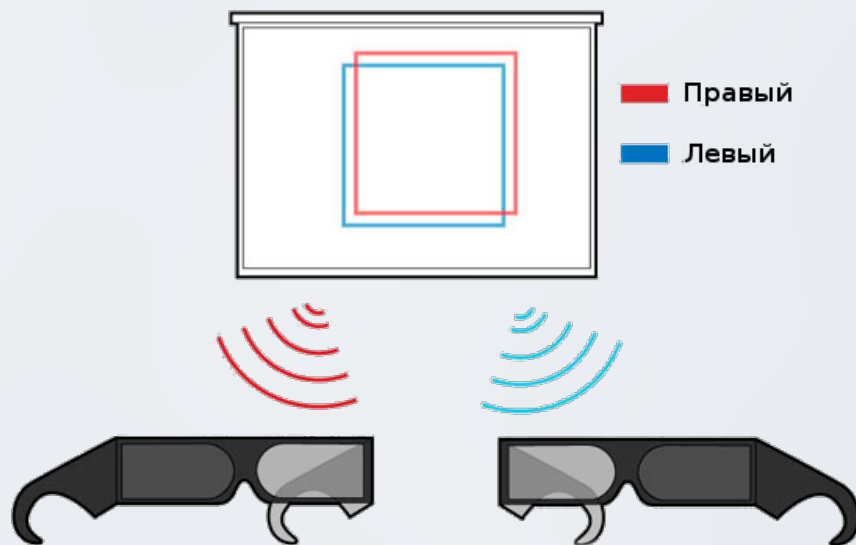
- Анаглиф
- Поляризация



- Параллакс-барьер



## ● Эклипс (затвор)



## ● Пространственное разделение (стереоскоп)

