



Математические основы методов анализа результатов физического эксперимента

11. Временные масштабы. Регистрация быстропротекающих процессов.

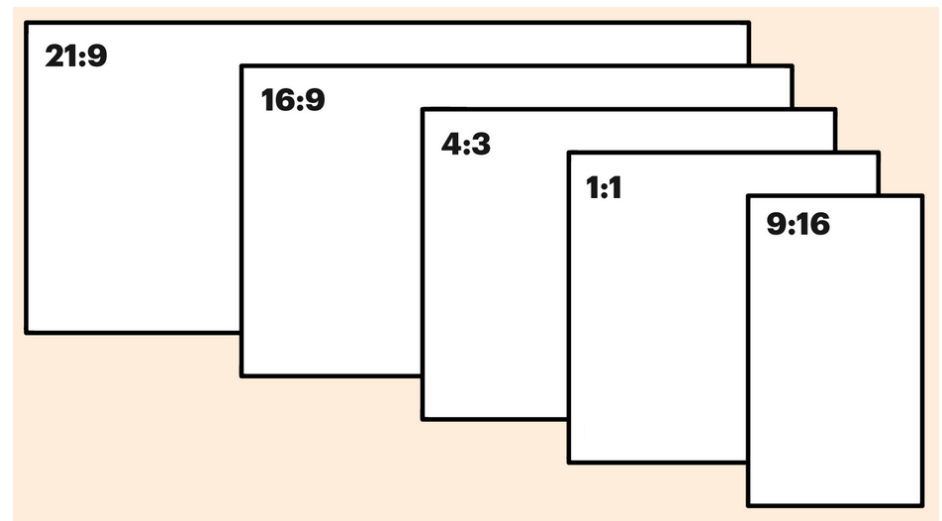
Цифровое видео

Цифровое видео

Цифровая видеопоследовательность* - упорядоченное множество статичных цифровых изображений, сменяющих друг друга во времени

Размеры кадра определяются *стандартами* видео:

- NTSC - 720x480 пк
- PAL DVD - 720x576 пк
- HD 720 p – 1280x720 пк
- HDTV (Full HD) – 1920x1080 пк
- ...



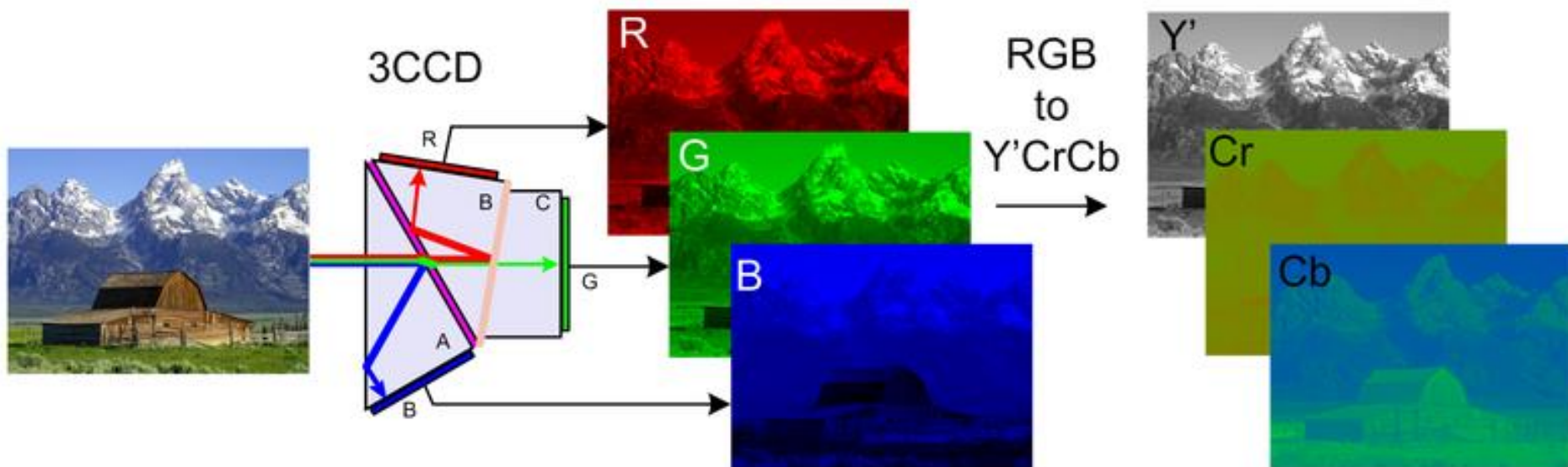
типичные соотношения сторон

Цифровое видео

После *гамма-коррекции* сигналов R, G, B производится их преобразование в модель YCbCr.

Компоненты Y, Cr, Cb квантуются с разрядностью 8 или 10 бит*.

* 8-битное кодирование: Y - 220 уровней, Cr, Cb - 225 уровней из 256, остальные – для сигналов синхронизации

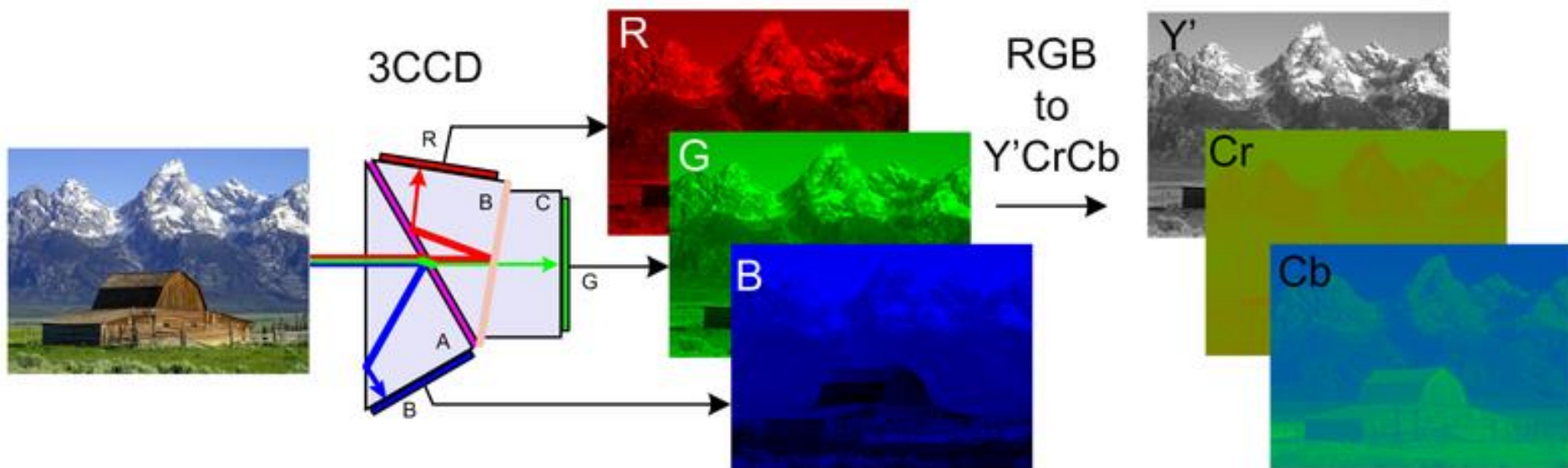


Цифровое видео

Цифровой **стандарт 4:2:2** -

Компоненты Cr, Cb передаются с пространственным разрешением в два раза меньшим, чем по яркостному сигналу Y

Частота дискретизации Y также в 2 раза выше, чем Cr и Cb



Цифровое видео

Частота следования кадров:

- **12-18 кадров/с** - минимальная частота, при которой движение будет восприниматься плавным (экспериментальные данные)
- **24 кадра/с** - киноплёнка
- **25, 30 кадров/с** - телевидение (форматы PAL, SECAM, NTSC)
- **60 кадров/с** - частота монитора (полный кадр)

+ частные случаи воспроизведения:

- *замедленный* повтор (медленное воспроизведение видео, снятого с обычной скоростью)
- *замедленное* движение (воспроизведение ускоренной съёмки со скоростью 25 к/с)

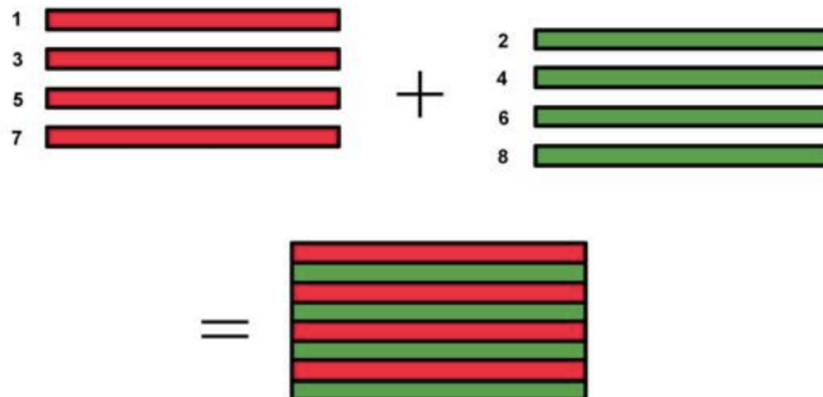
Цифровое видео

Формат кадров - способ передачи двумерного сигнала одномерным массивом

Например, 1080p - высота кадра 1080 пк, прогрессивная развертка

Развертка кадров:

- **чересстрочная** (“i” - interlaced)



- **прогрессивная/построчная** (“p” - progressive)

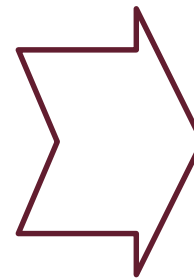


Сжатие видеосигналов

Сжатие видеосигналов

Основные подходы к процессу сжатия видеосигналов основаны на следующих **принципах**:

- *пространственная избыточность*
- *избыточность в цветовых плоскостях*
- *использование оптимального кода для описания данных*
- *временная избыточность*

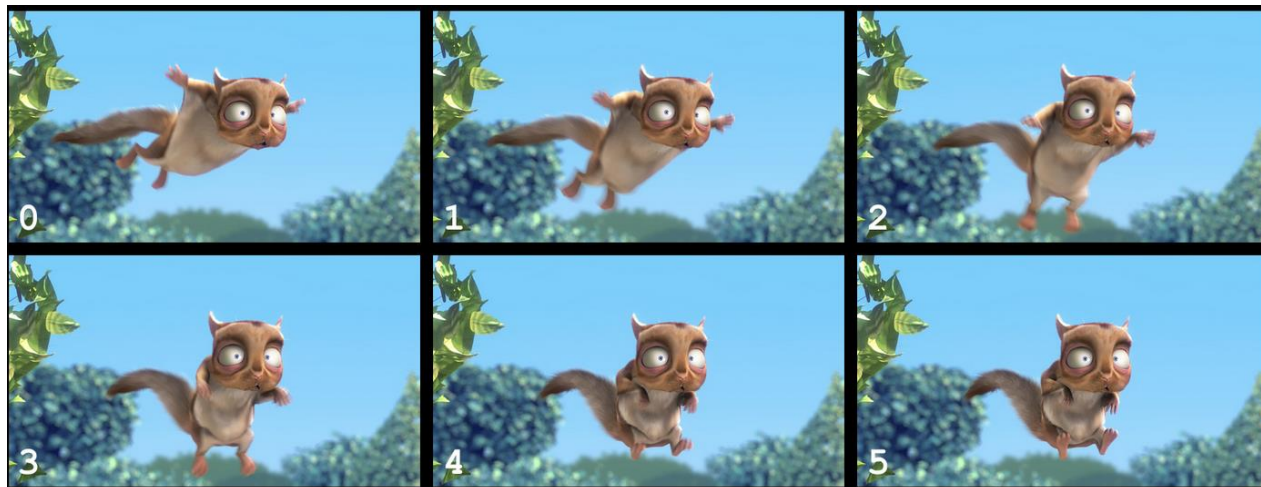


сжатие
изображений

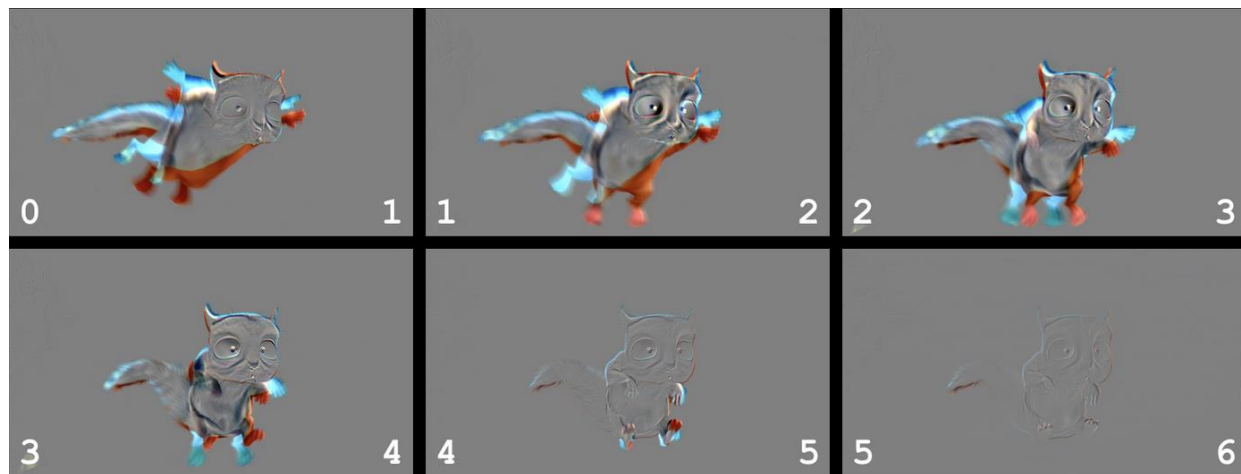
на скорости 25 кадров в секунду соседние кадры, как правило, изменяются незначительно

Сжатие видеосигналов

последовательность кадров



межкадровая разница



MPEG сжатие

Типы кадров в видеопоследовательности:

- *опорные* кадры **I** (**Intra** frame)
независимо сжатые
- *предсказуемые* кадры **P** (**Predicted** frame)
сжатые с использованием ссылки на одно изображение
- *двунаправленные предсказуемые* кадры **B**
(**Bidirectionally predicted** frame)
сжатые с использованием ссылки на два изображения

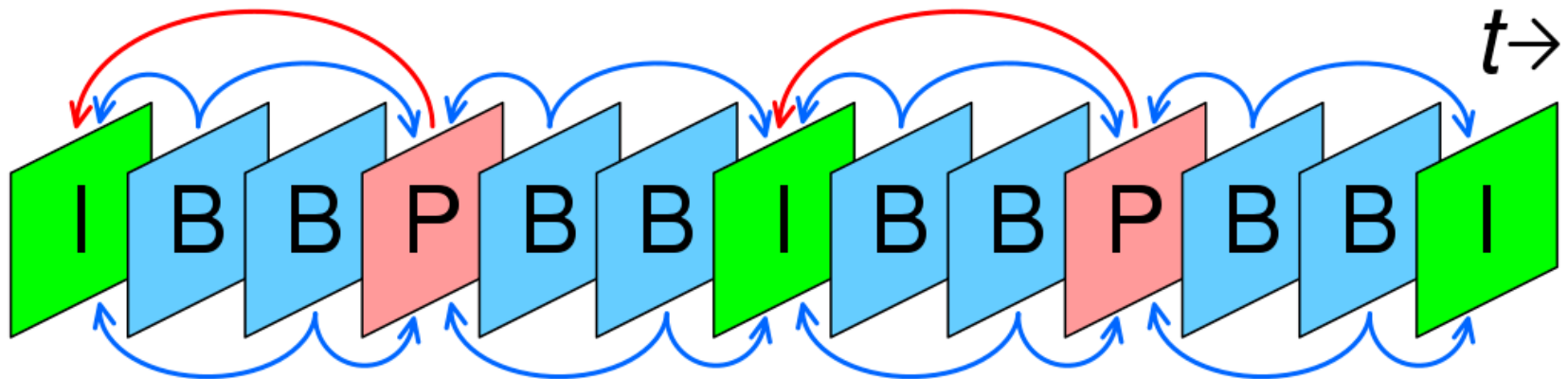
I, P, B кадры объединяются в группы (**GOP- Group Of Pictures**), представляющие собой минимальный повторяемый набор последовательных кадров, например:

(I0 B1 B2 P3 B4 B5 P6 B7 B8 P9 B10 B11) (I12 B13 B14 P15 B16 B17 P18 ...)

MPEG сжатие

Типы кадров в видеопоследовательности:

- опорные кадры **I** (**I**ntra frame)
- предсказуемые кадры **P** (**P**redicted frame)
- двунаправленные предсказуемые кадры **B** (**B**idirectionally predicted frame)



MPEG сжатие

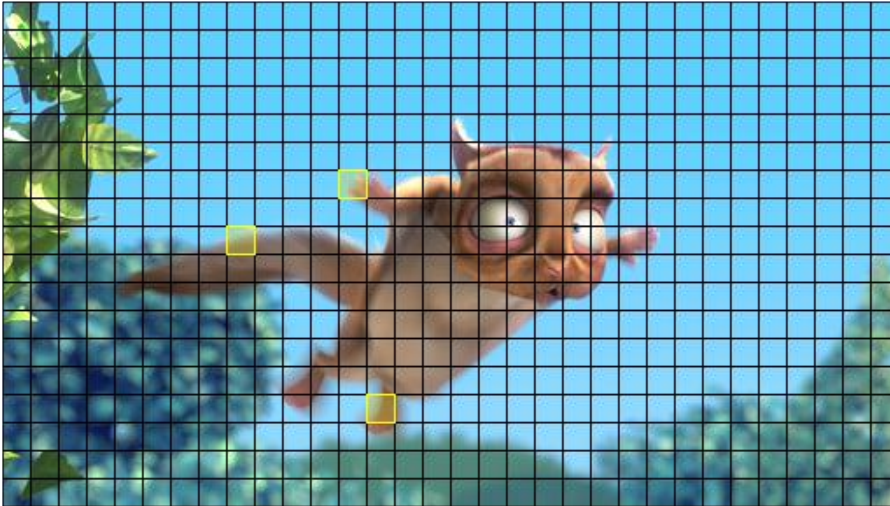
- простая межкадровая разница работает плохо при сильном движении в кадре
- для уменьшения межкадровой разницы применяют ***алгоритмы компенсации движения:***

при движении объектов сцены некоторые группы пикселей на соседних кадрах могут быть немного сдвинуты относительно друг друга



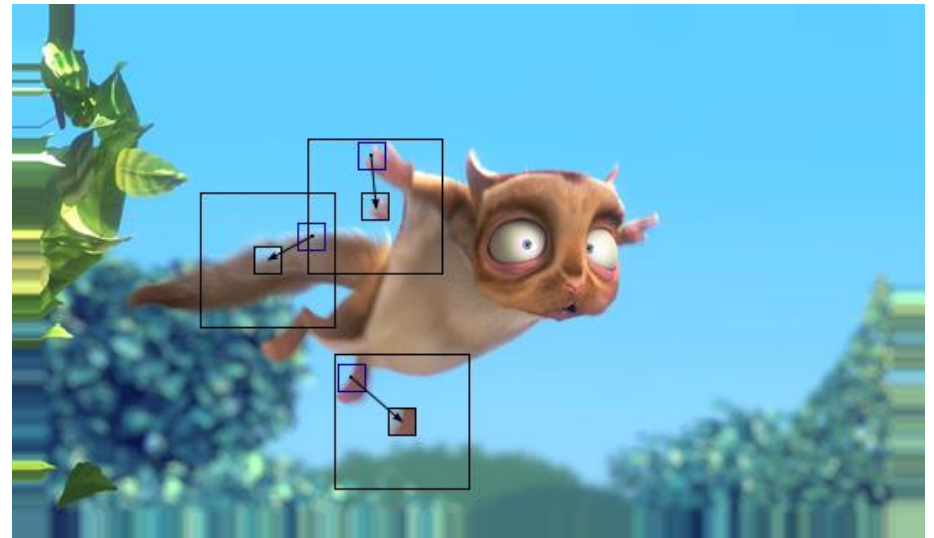
если найти такую группу пикселей и знать искомое их смещение, то можно более точно осуществить прогноз следующего кадра и *получить лучшее сжатие.*

Сжатие изображений: компенсация движения

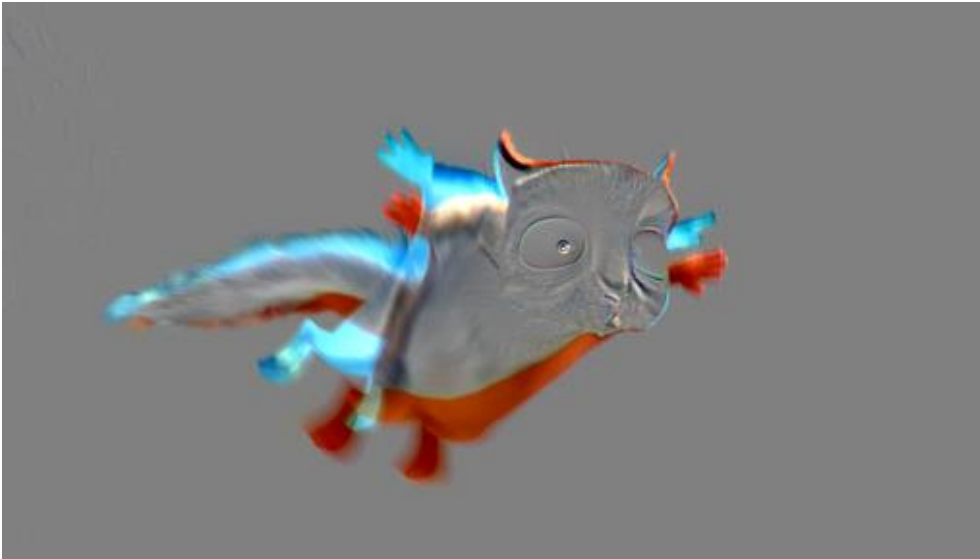


- опорный кадр делится на квадратные блоки размером, кратным 8 пк

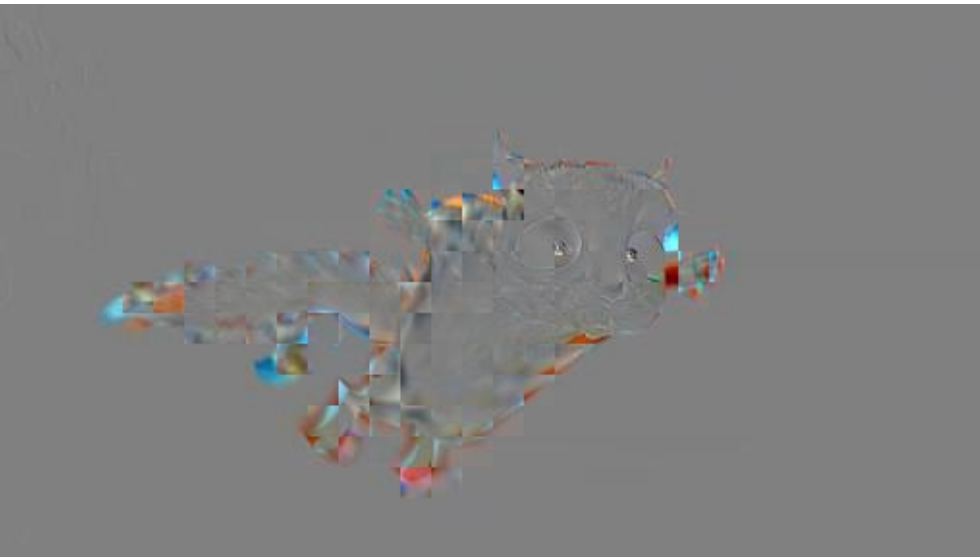
- производится обход некоторой окрестности каждого блока в поиске максимального соответствия изображению блока на предыдущем кадре



Сжатие изображений: компенсация движения



*межкадровая разница
без компенсации
движения*



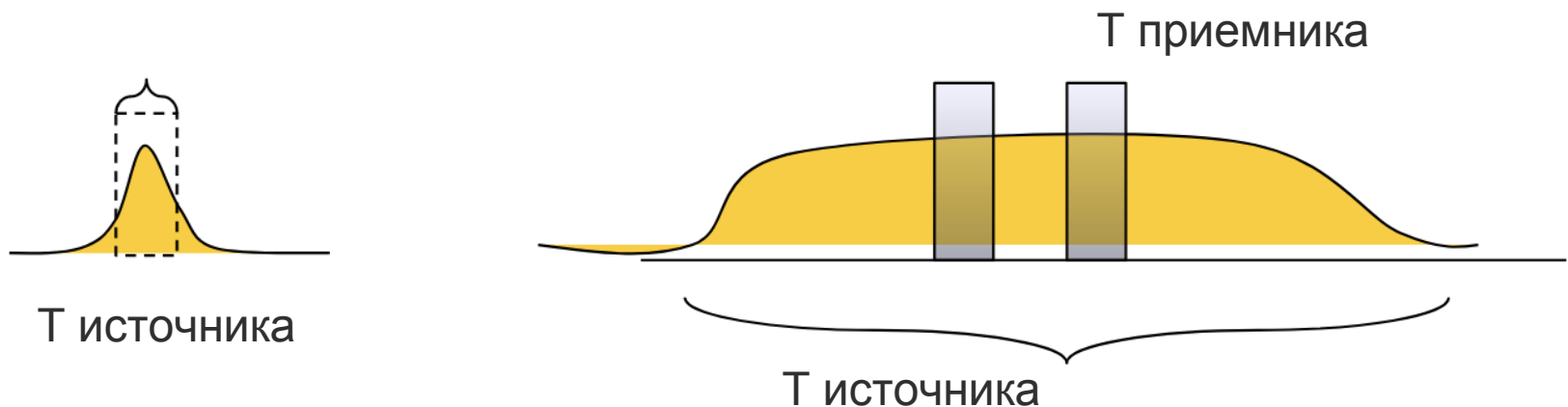
*разница между
опорным и
скомпенсированным
кадрами*

Особенности регистрации медленно и быстро протекающих процессов

Экспозиция

Экспозиция - количество света, попадающего на светочувствительный фотоматериал за определенный промежуток времени

- образ объекта в пространстве изображения за время экспозиции не должен сдвинуться больше, чем на 1 пк
- при слабом освещении время экспозиции должно быть увеличено



Медленно протекающие процессы

➤ **замедленная** съемка

Общее время съемки увеличивается за счет увеличения экспозиции каждого кадра.

Пример: съемка астрономических объектов слабой светимости

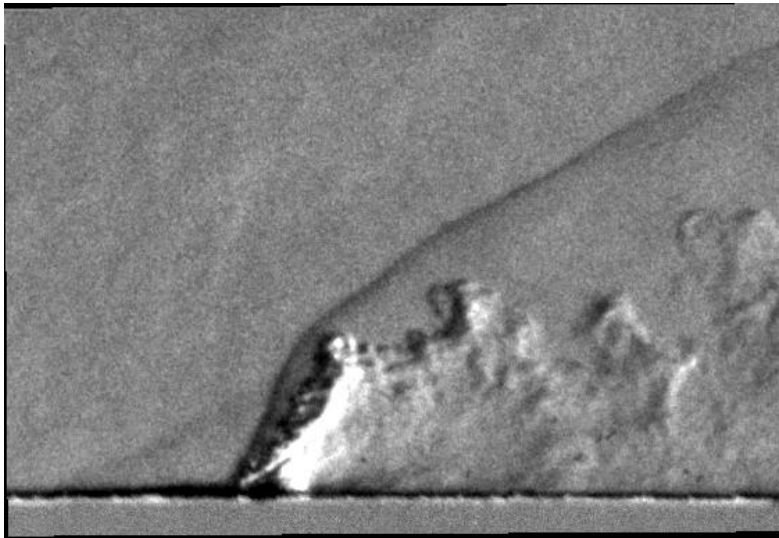
➤ **прореженная** съемка

Съемка ведется с обычной частотой и экспозицией, но затем видеопоследовательность прореживается с определенным шагом

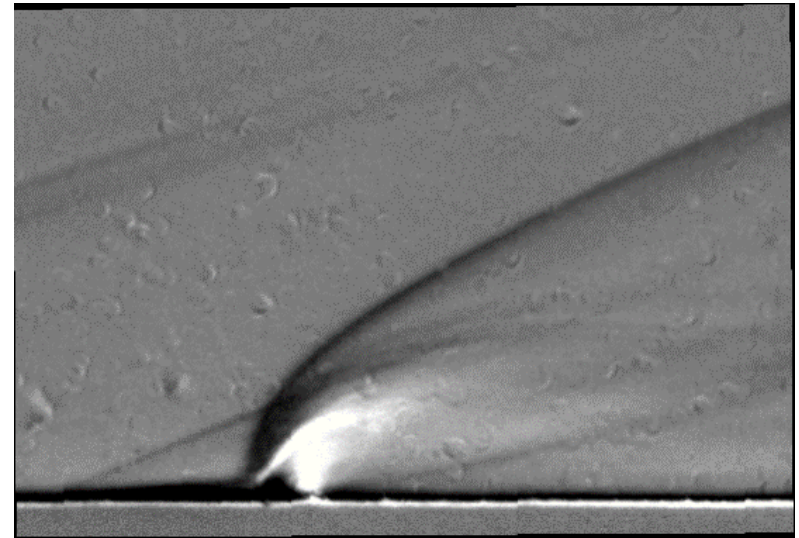
Пример: фильмы, демонстрирующие “ускоренный” рост растений, “быстрое” изменение ландшафтов, движение ледников

Быстропротекающие процессы

Быстропротекающий процесс - физический процесс, длительность которого не превышает нескольких секунд (взрывы, выстрелы, разрушения материалов, сгорание топлива, сверхзвуковые течения)



*водородная струя
мгновенное изображение*



*водородная струя
усредненное изображение
(большая экспозиция)*

Быстропротекающие процессы

Достижение высокой скорости съемки:

- уменьшение пространственного разрешения
- отказ от передачи данных в реальном времени
- использование *линейной* (*line-scan*) камеры

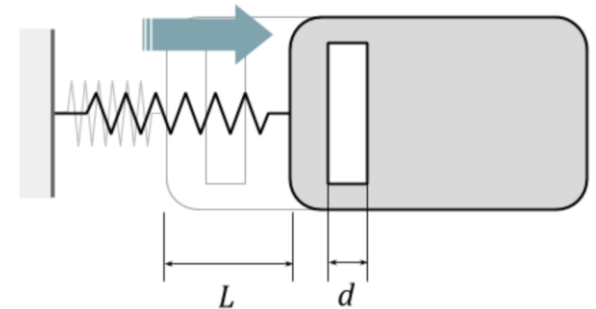


Hubert Schardin 1942

Быстропротекающие процессы

Достижение сверхмалого времени экспозиции:

- использование приемника с малой выдержкой
- использование источника света малой длительности



модель механического затвора



солнце



свеча



искровой разряд



эл. лампа



импульсная лампа



лазер...

18 век

19 век

20 век

21 век

- Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 2012
- В.А. Сойфер. Компьютерная обработка изображений. Часть 1. 1996
- Вильзитер и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. 2007
- https://ru.wikipedia.org/wiki/Компенсация_движения

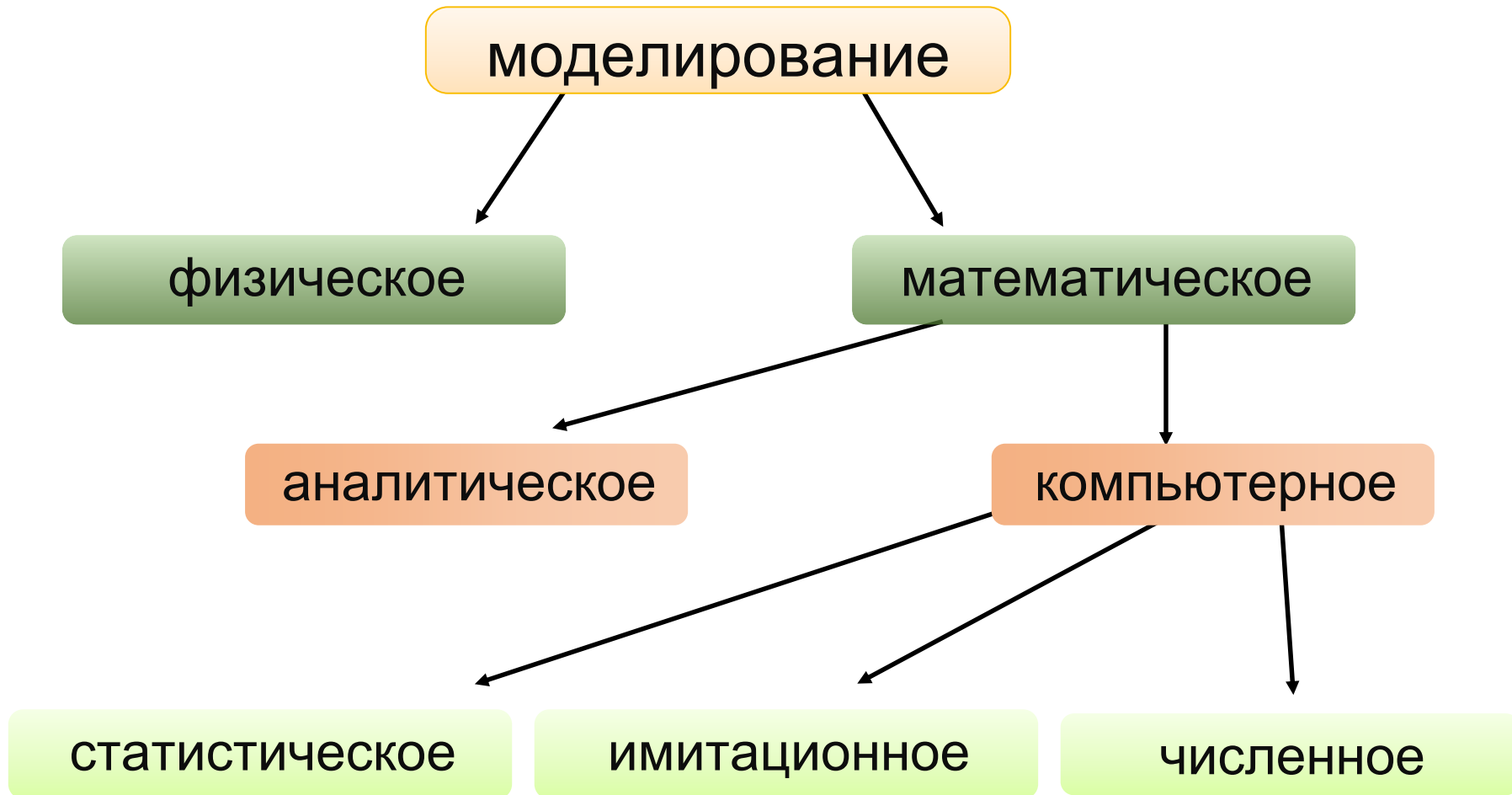


Математические основы методов анализа результатов физического эксперимента

12. Сравнение экспериментальной и численной
визуализации течений. Метод обратных задач в
геофизике и механике.

Моделирование физических объектов и систем

Моделирование физических объектов и систем

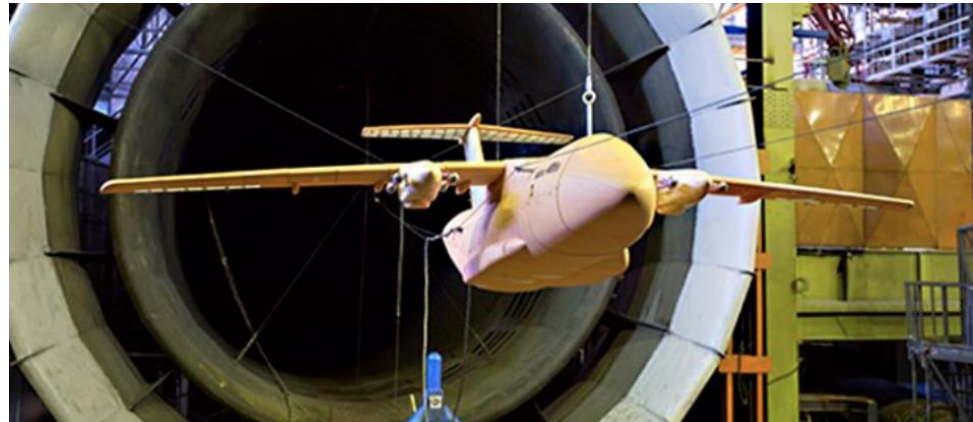


Моделирование физических объектов и систем

➤ **Физическое моделирование**

К физическому моделированию прибегают:

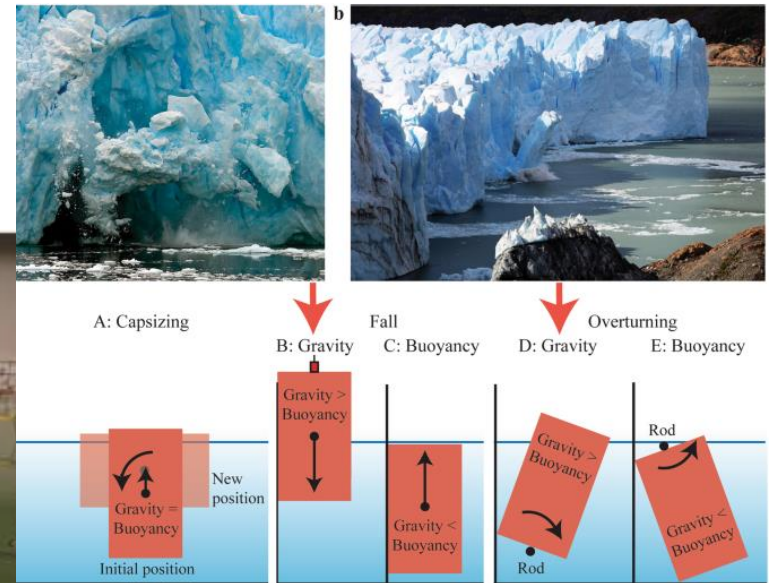
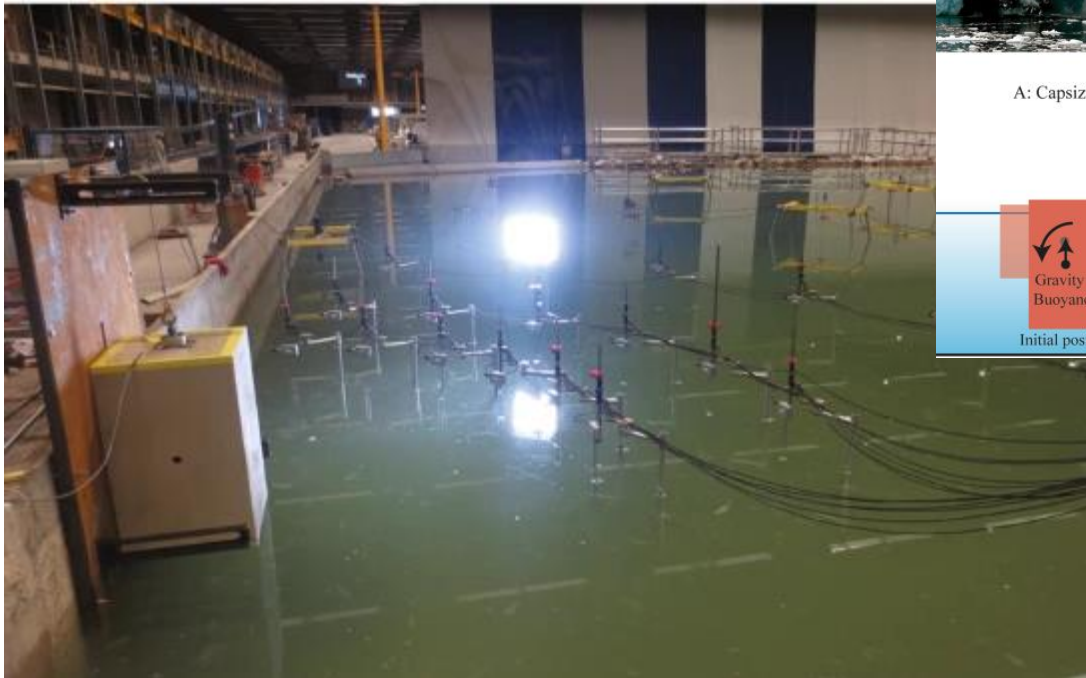
- если натурные испытания очень трудно или вообще невозможно осуществить
- когда слишком велики (малы) размеры натурального объекта или значения других его характеристик (давления, температуры, скорости протекания процесса и т.п.)
- по экономическим соображениям.



ЦАГИ

Моделирование физических объектов и систем

➤ Физическое моделирование



Моделирование физических объектов и систем

➤ **Математическое моделирование**

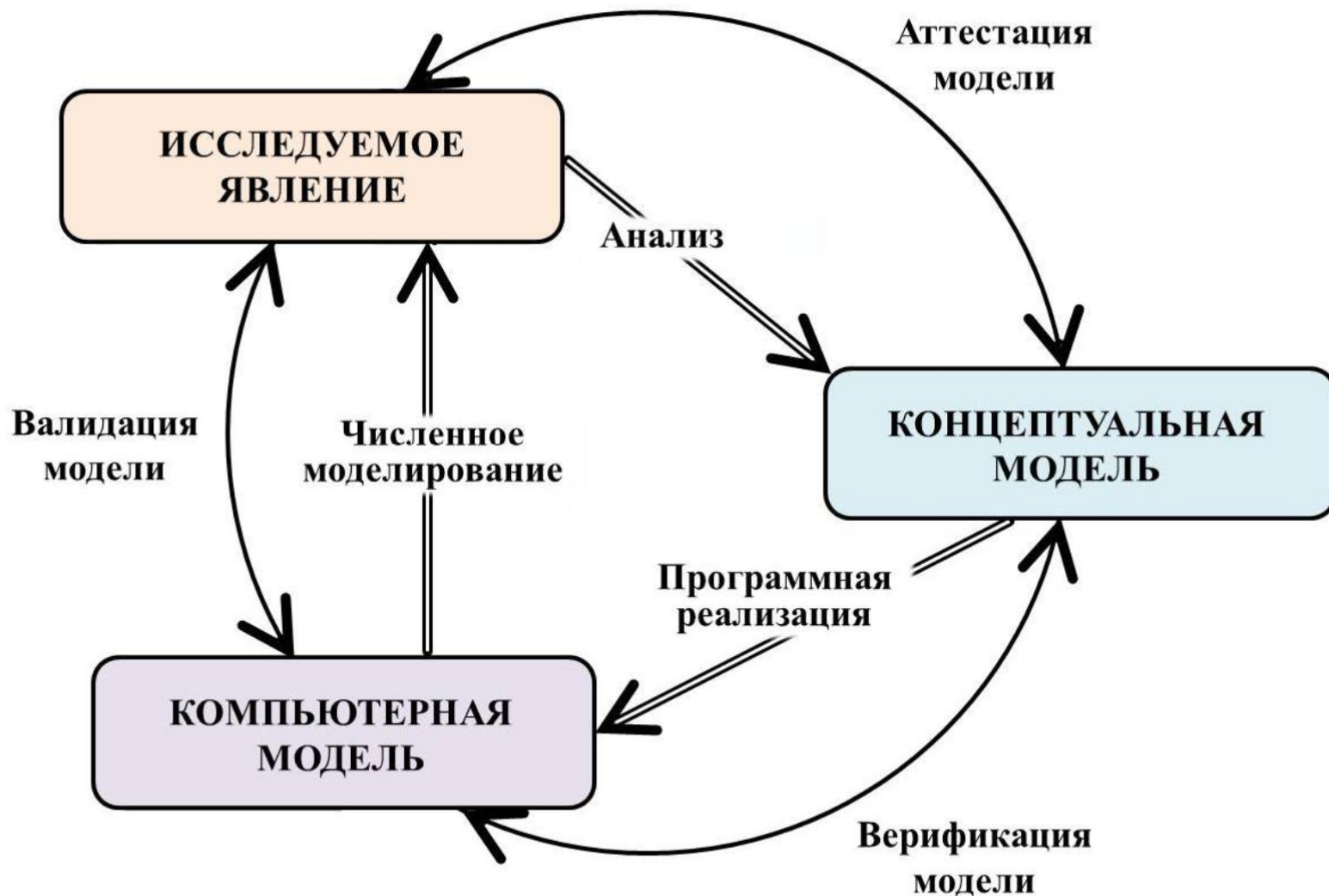
Аналитическая модель представляет собой уравнение/систему уравнений, описывающих изучаемый процесс

Компьютерное моделирование предполагает выполнение *вычислительного эксперимента* на основе математической модели с помощью ЭВМ.

Вычислительный эксперимент — новый метод научного исследования, который заставляет совершенствовать математический аппарат, используемый при построении математических моделей.

Для проверки адекватности математической модели и реального объекта, процесса или системы результаты исследований на ЭВМ сравниваются с результатами эксперимента на опытном натурном образце.

Численное моделирование эксперимента



Численное моделирование эксперимента

➤ **Верификация**

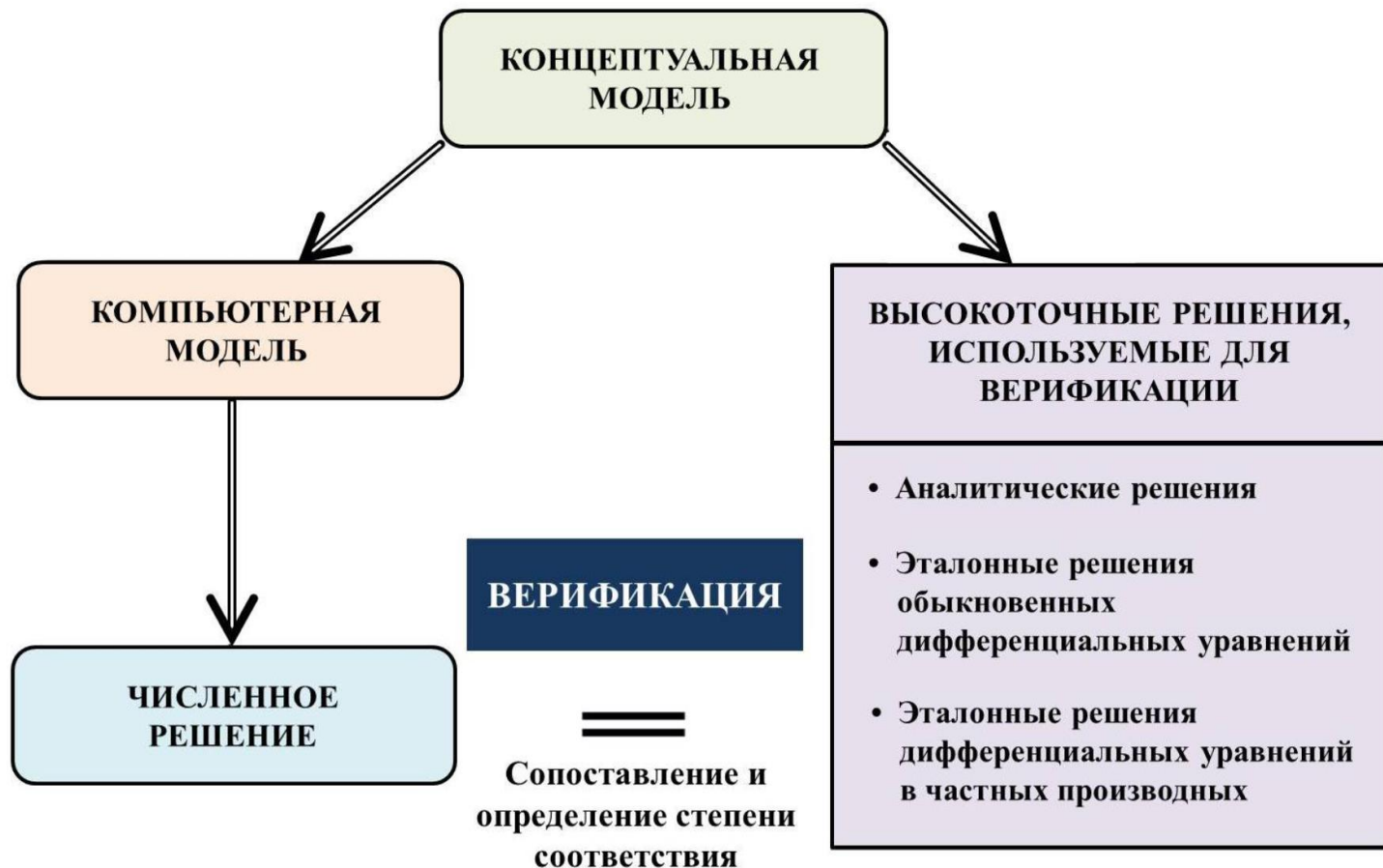
Верификация вычислительного кода подразумевает подтверждение того, что программная реализация модели точно отражает принятую концептуальную модель и соответствующее данной модели решение.

В процессе верификации устанавливается, что математическая модель решена правильно с использованием методов дискретной математики, реализованных в компьютерной программе

Бенчмарк (benchmark) - эталонное высокоточное решение, используемое для количественной оценки погрешности численного решения

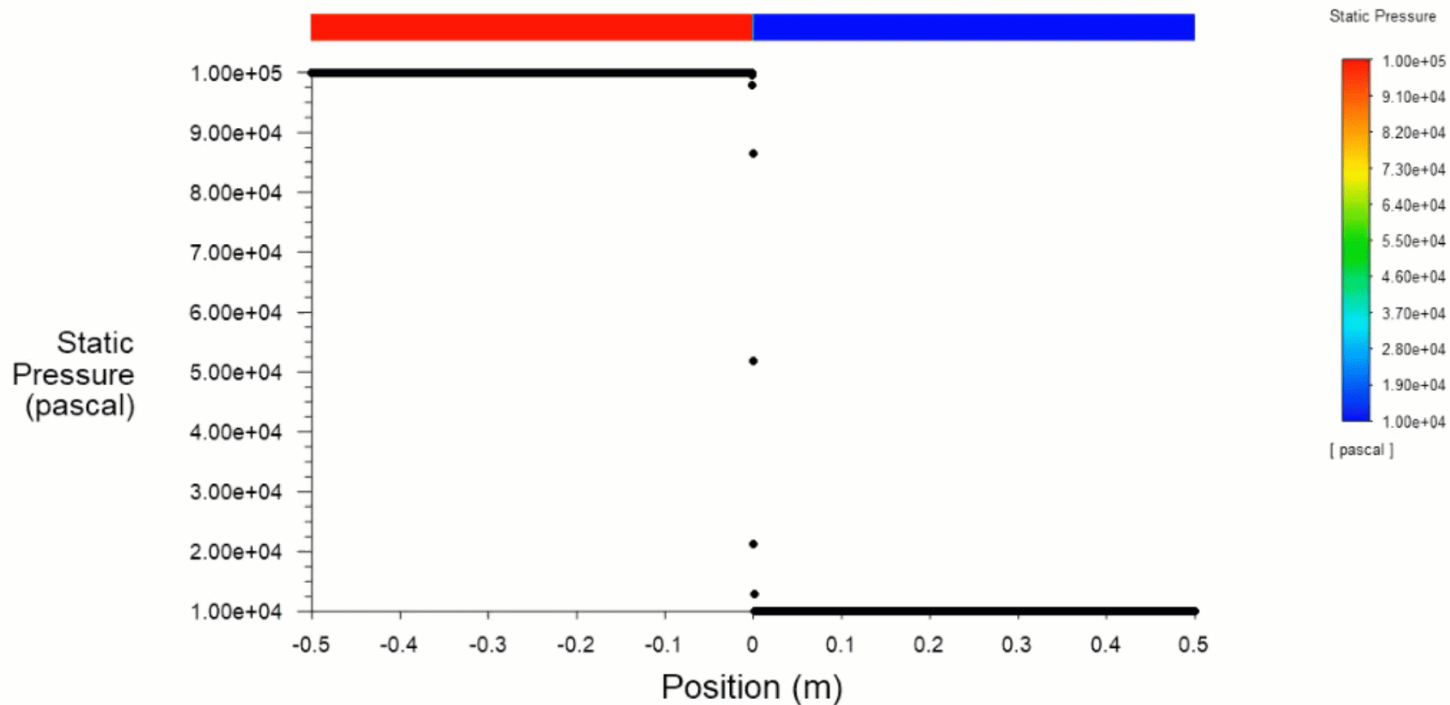
Численное моделирование эксперимента

➤ Верификация



Численное моделирование эксперимента

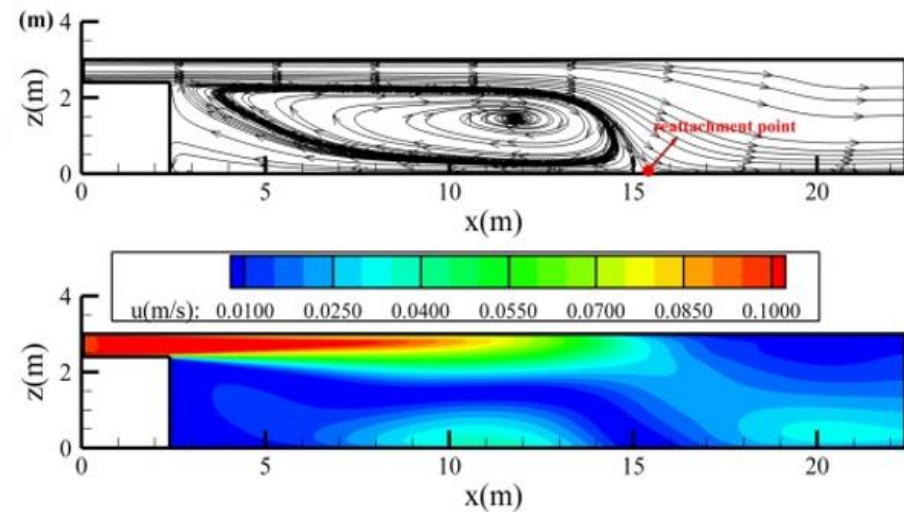
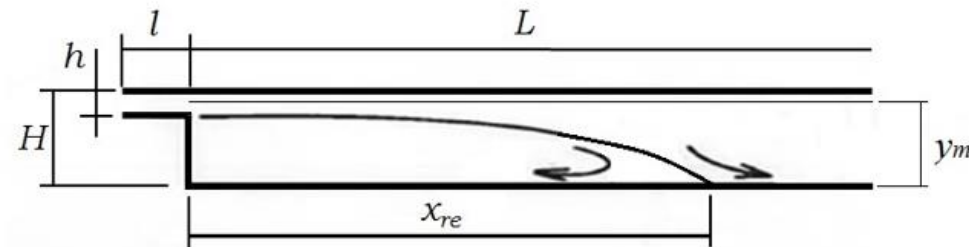
Классические верификационные задачи численной газодинамики (CFD)



“Test Sod”

Численное моделирование эксперимента

Классические верификационные задачи численной газодинамики (CFD)



"Backward facing step"

Численное моделирование эксперимента

➤ **Валидация**

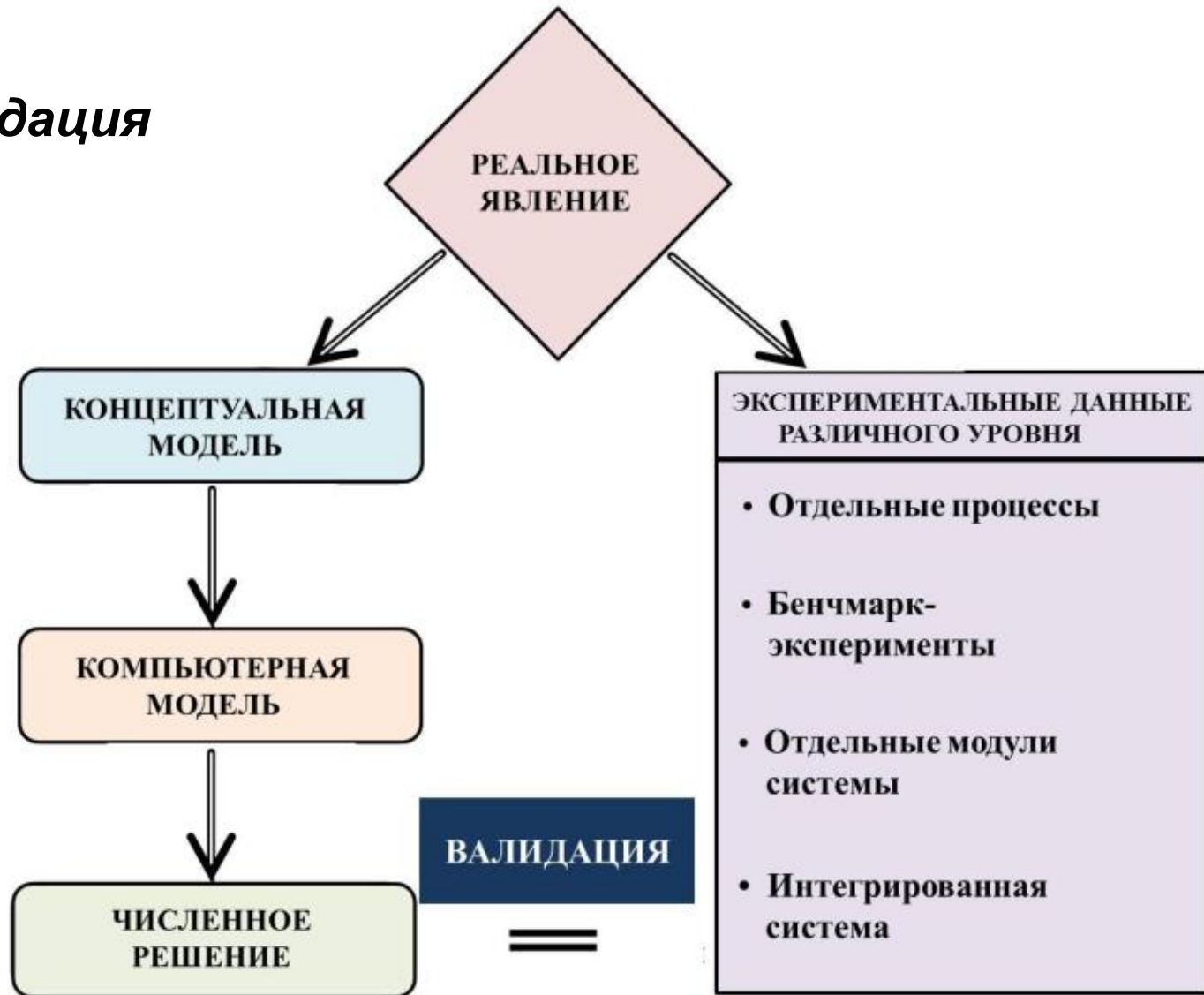
Валидация позволяет определить, насколько точно выбранная концептуальная модель описывает исследуемое физическое явление путем сопоставления численных и экспериментальных данных.

Модель, прошедшая некоторый уровень валидации, должна обладать определенной прогностической силой.

Это дает возможность использовать вычислительный код для прогнозирования состояния физической системы в условиях, для которых он не был валидирован.

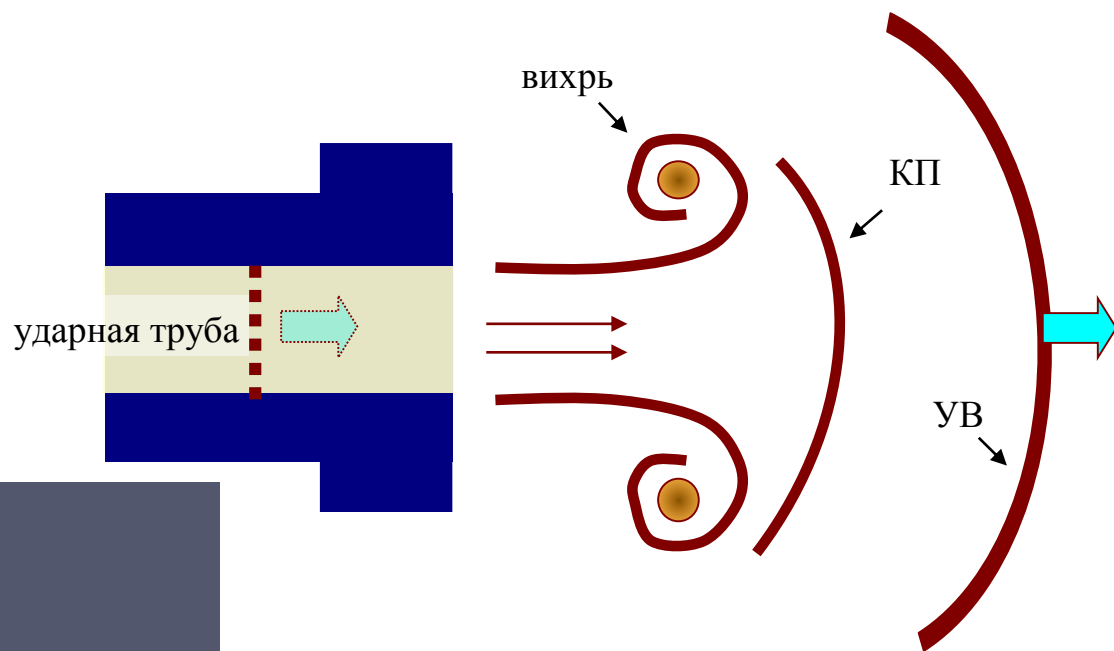
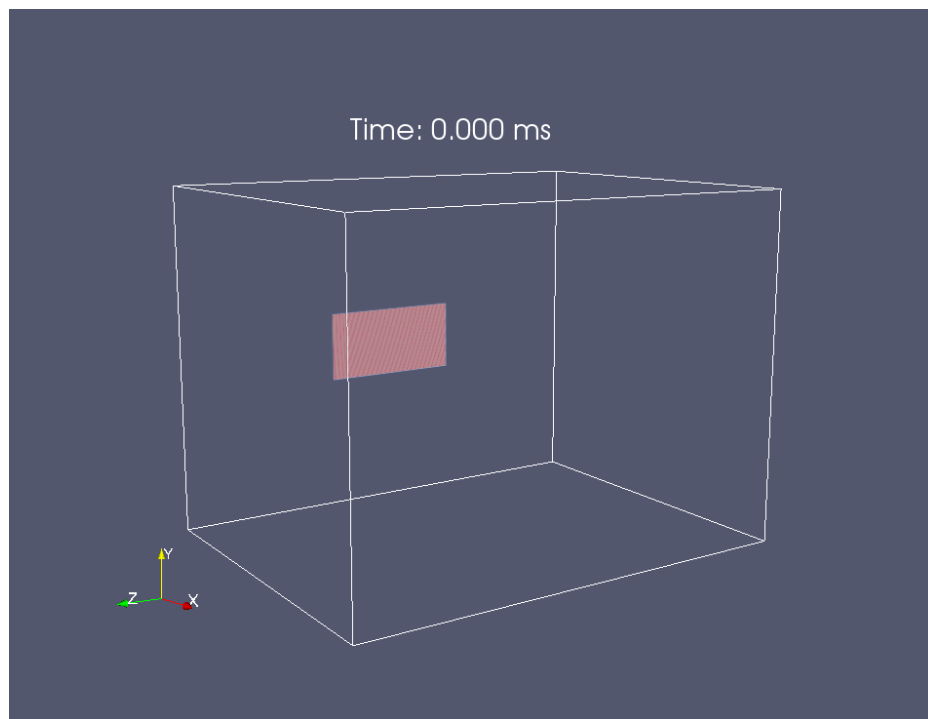
Численное моделирование эксперимента

➤ Валидация



Валидация (CFD)

Пример 1: Дифракция Ударной Волны

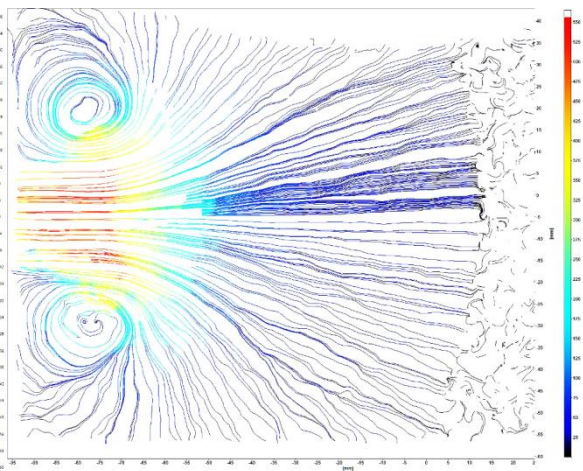
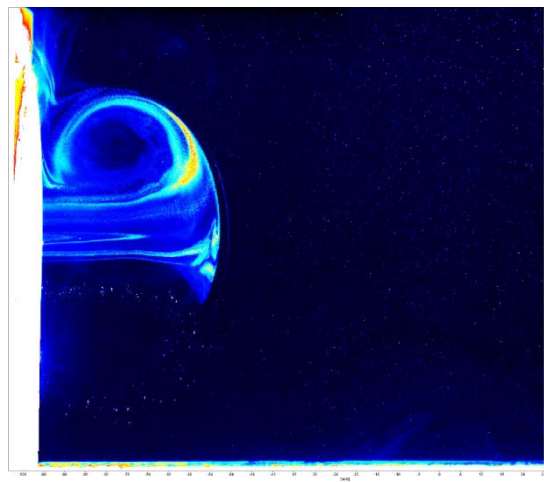


CFD моделирование

*Koroteeva et al. Shock Waves. 2016.
Vol. 26 (3), P. 269–277*

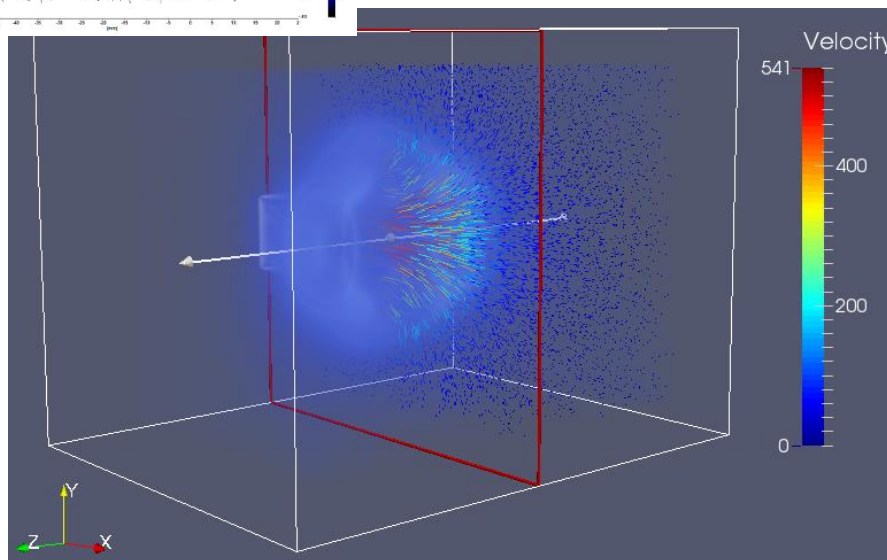
Валидация (CFD)

Пример 1: Дифракция Ударной Волны



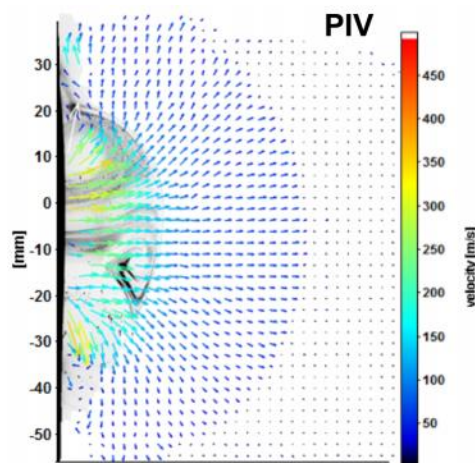
← *изолинии скорости
(эксперимент, PIV)*

*3D CFD
моделирование*

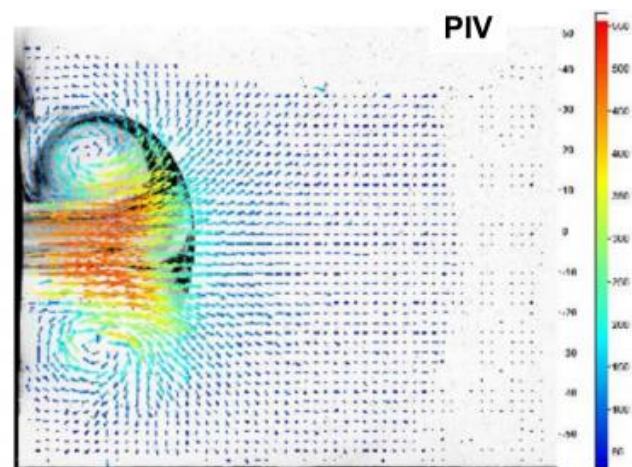


Валидация (CFD)

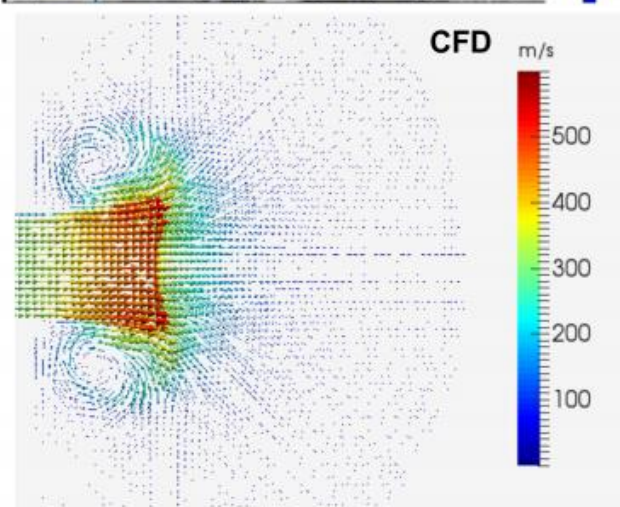
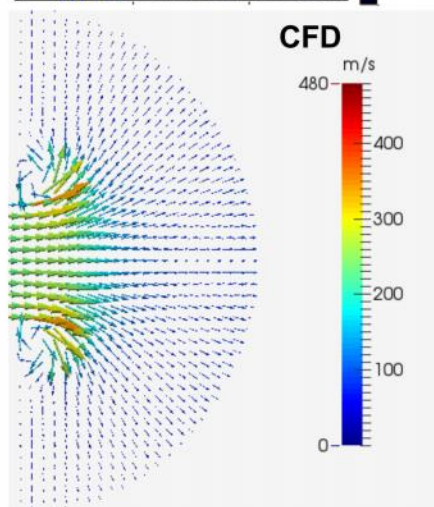
Пример 1: Дифракция Ударной Волны



130 мкс

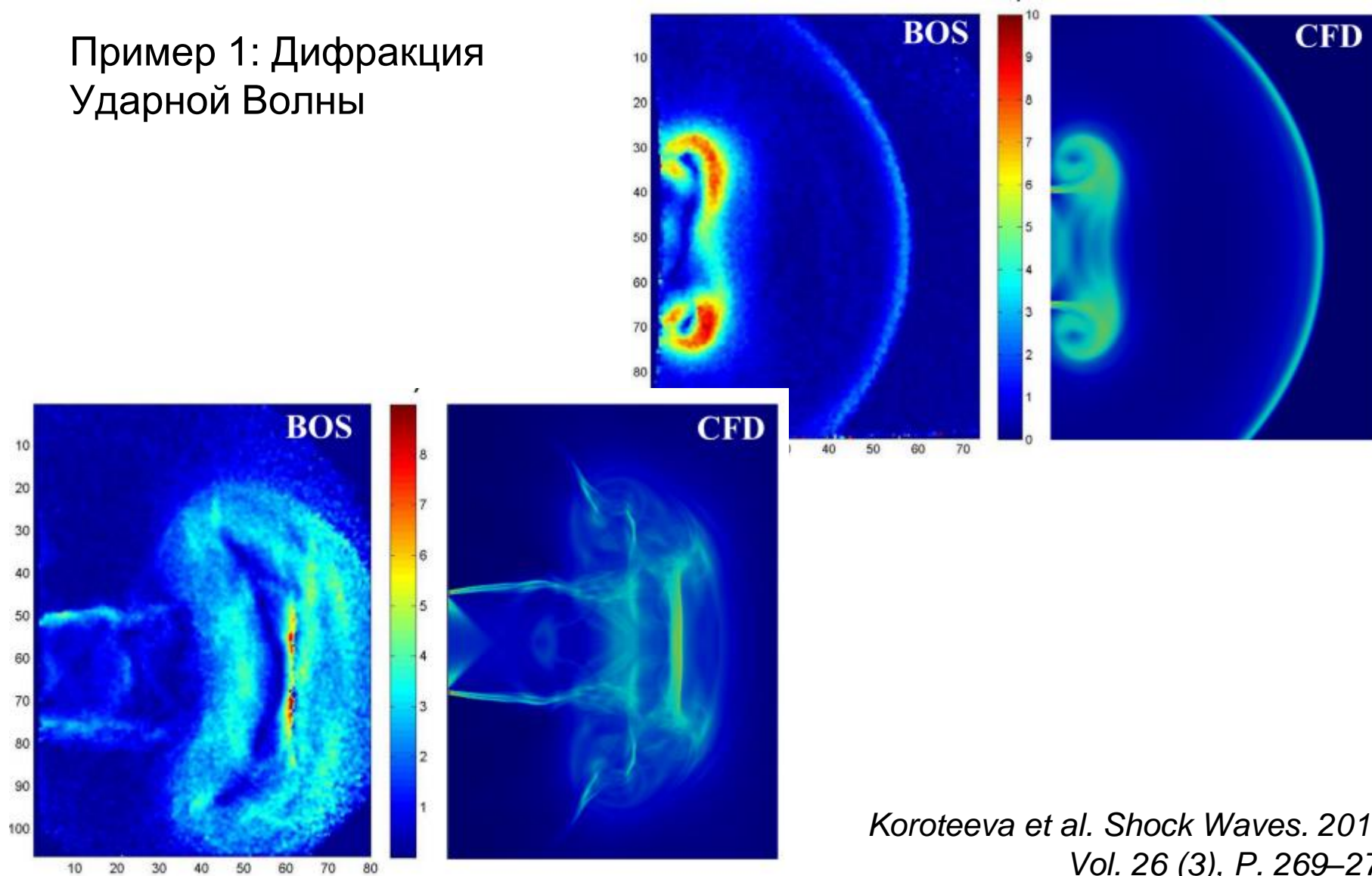


250 мкс



Валидация (CFD)

Пример 1: Дифракция Ударной Волны

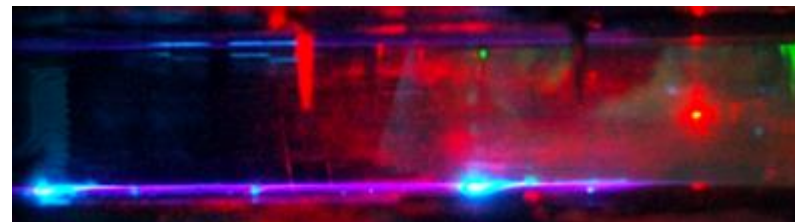


*Koroteeva et al. Shock Waves. 2016.
Vol. 26 (3), P. 269–277*

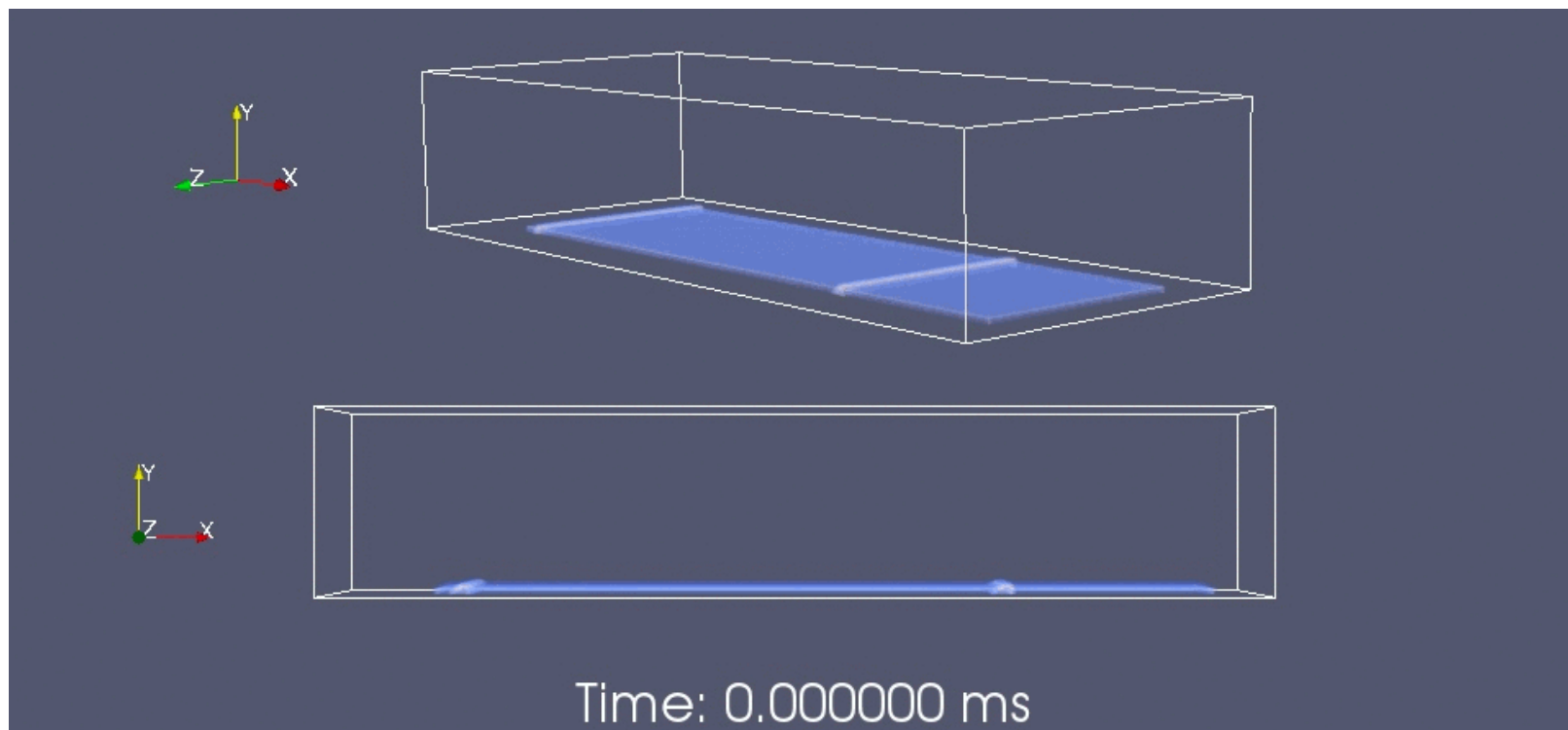
Валидация (CFD)

Пример 2: Движение ударной волны по поверхности
испультного разряда

0 мкс

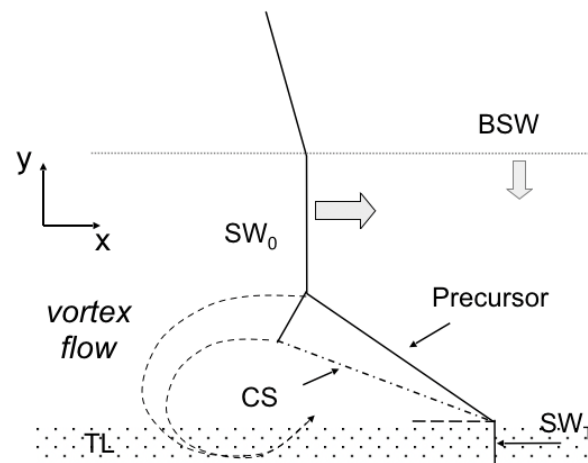


0 — 200 мкс

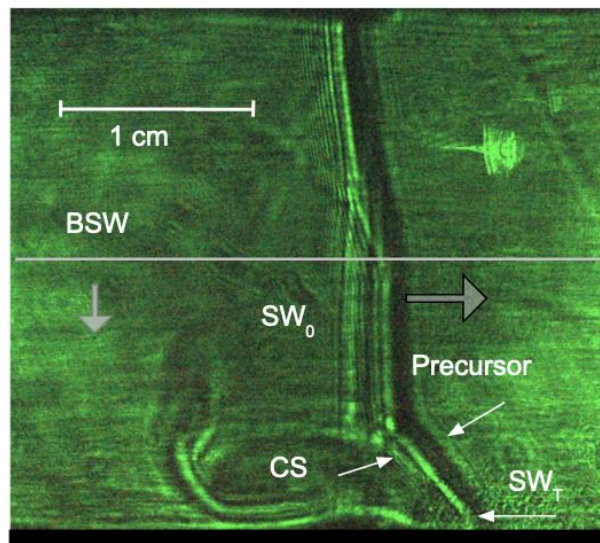


Валидация (CFD)

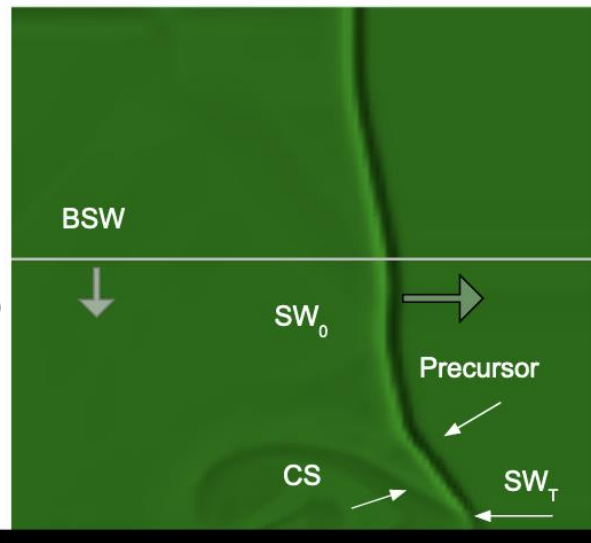
Пример 2: Движение ударной волны по поверхности импульсного разряда



эксперимент



CFD



Прямые и обратные задачи в физике

Прямые и обратные задачи

➤ **Прямые задачи**

В *экспериментальной* физике:

Непосредственное наблюдение или измерение какой-либо характеристики изучаемого объекта или явления

В *математической* физике:

Нахождение функций, описывающих различные физические явления (распространение звука, тепла, электромагнитных волн и т.д.)

Известны:

- свойства среды
- начальное состояние среды
- граничные условия

Прямые и обратные задачи

➤ **Обратные задачи**

Определение коэффициентов уравнений, описывающих явление или процесс (свойств среды), начальных либо граничных условий на основании дополнительных данных (полученных в результате наблюдений или экспериментов)



Прямые и обратные задачи

Прямая задача:

Известно x . Найти $F(x)$.

Обратная задача:

Измерено $m = F(x) + n$.
Восстановить x .

Основные *направления применения* обратных задач:

- геофизика
- астрономия
- визуализация данных
- медицинская и промышленная томография
- дефектоскопия и неразрушающий контроль
- дистанционное зондирование
- радиолокация
- и пр.

Прямые и обратные задачи

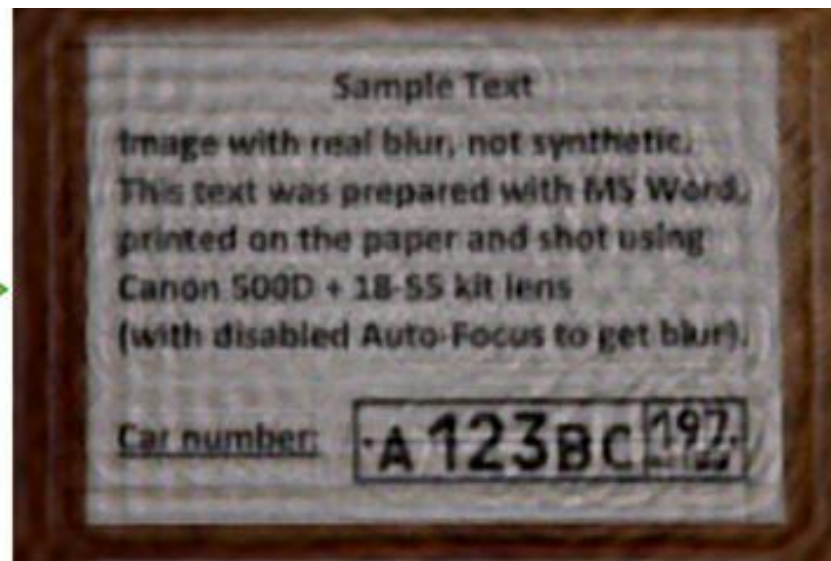
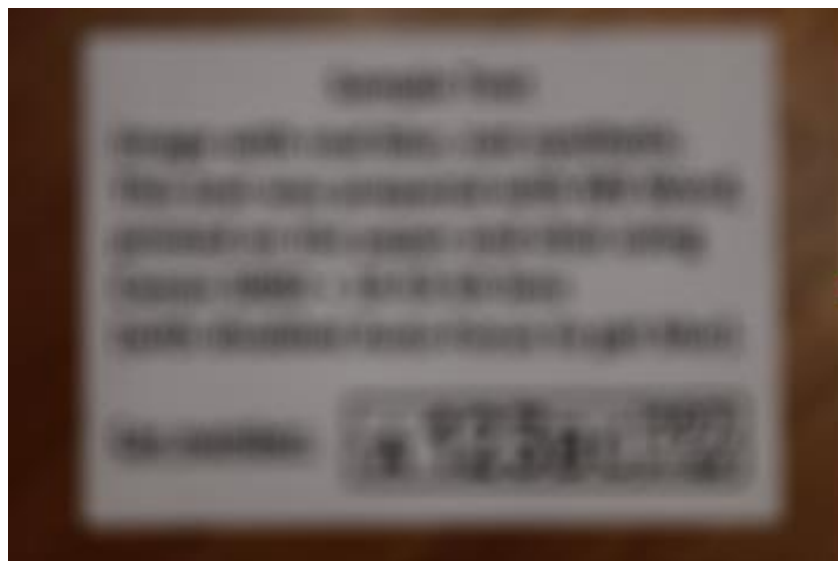
Классы обратных задач:

- *Эволюционные (ретроспективные) задачи:*
восстановление начального состояния модели
- *Граничные задачи:*
нахождение функций и параметров, входящих в граничные условия модели
- *Коэффициентные задачи:*
нахождение функций и параметров, входящих в коэффициенты основных уравнений модели
- *Геометрические задачи:*
реконструкция геометрических характеристик некоторого множества, расположенного в области реализации модели
- *Задачи поиска источника*

Примеры обратных задач

- Задача восстановления расфокусированных и смазанных изображений

алгоритмы деконволюции



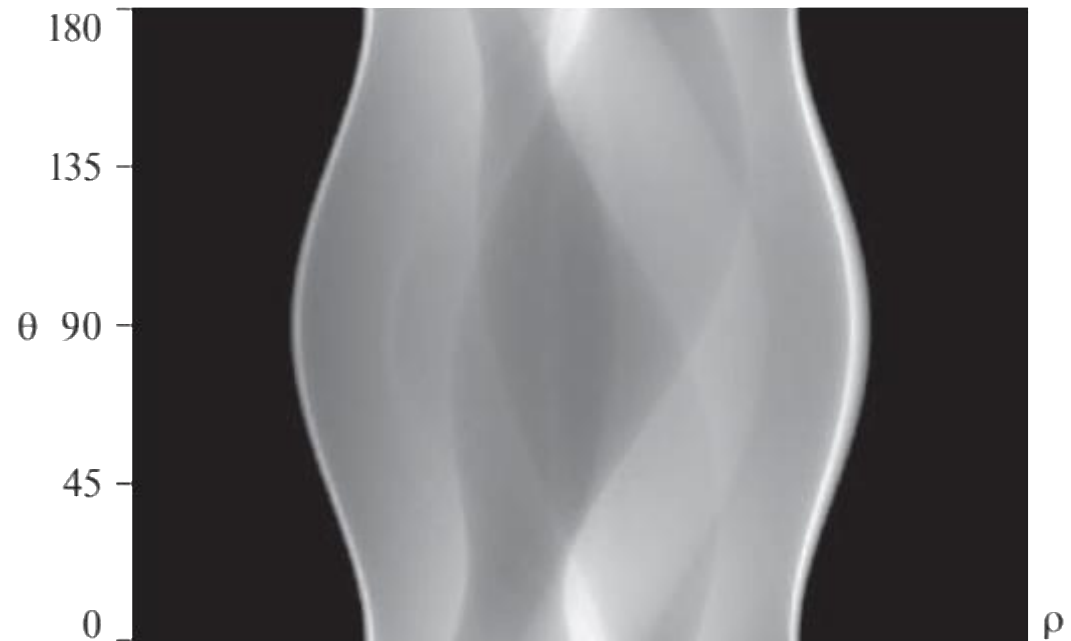
Примеры обратных задач

- Задача томографической реконструкции

фантом Шеппа-Логана



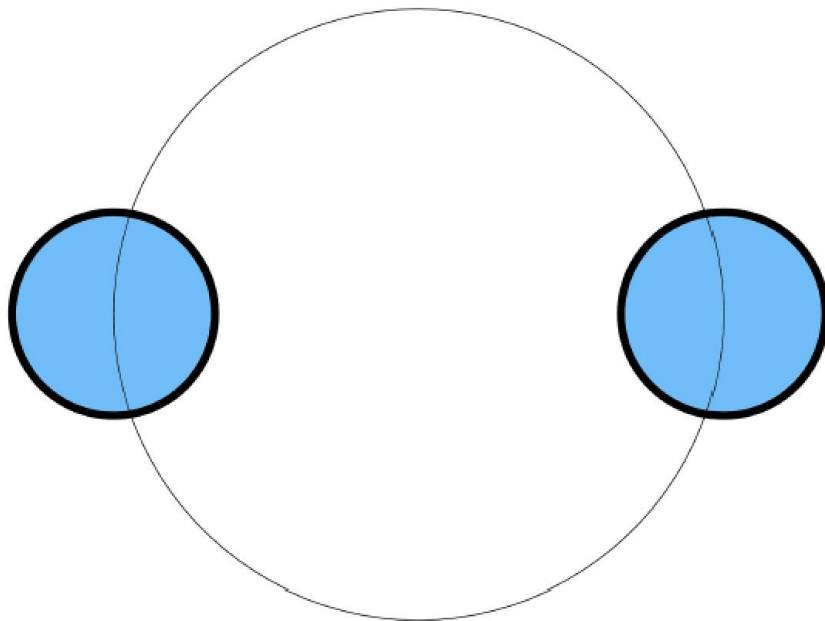
синограмма



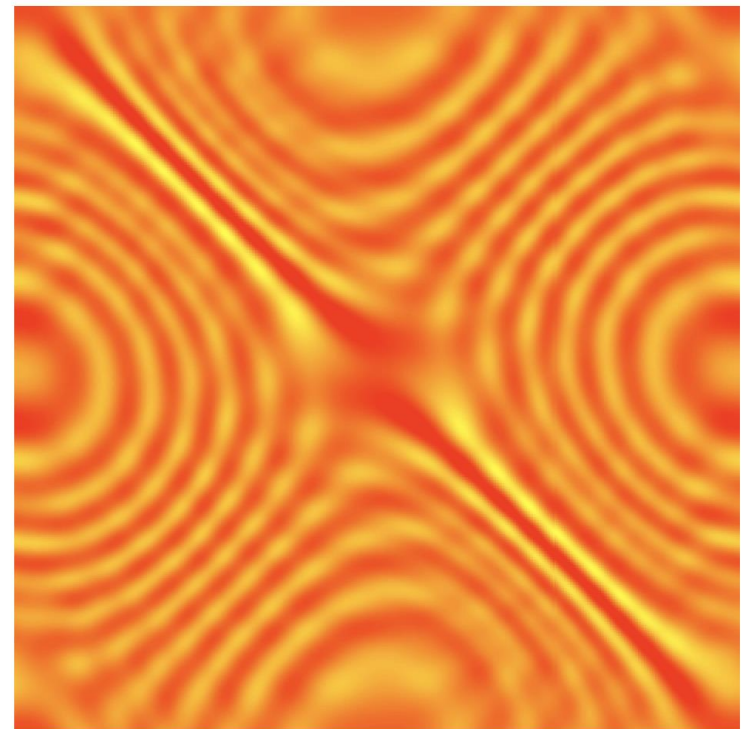
Примеры обратных задач

- Задача обратного рассеяния волн

акустические препятствия



*распределение поля в
дальней зоне*



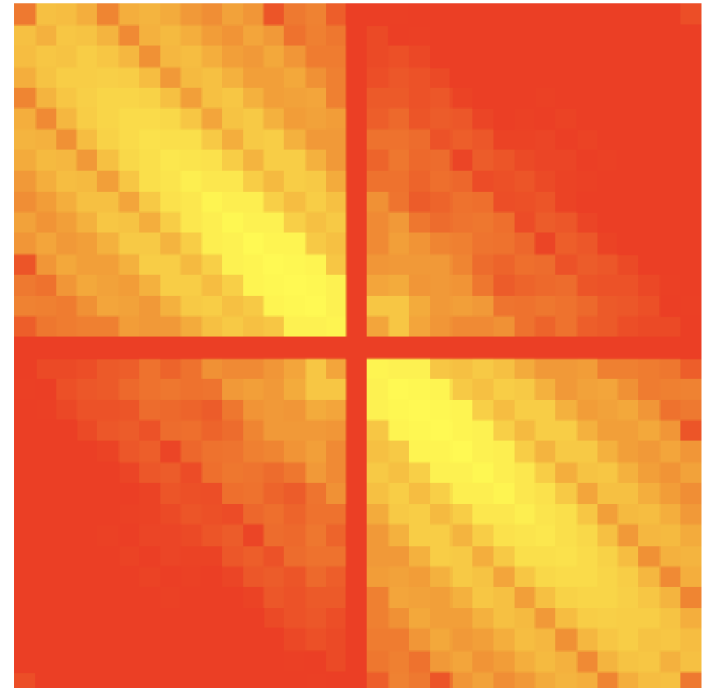
Примеры обратных задач

- Электроимпедансная томография (ЭИТ)

объект (проводимость)

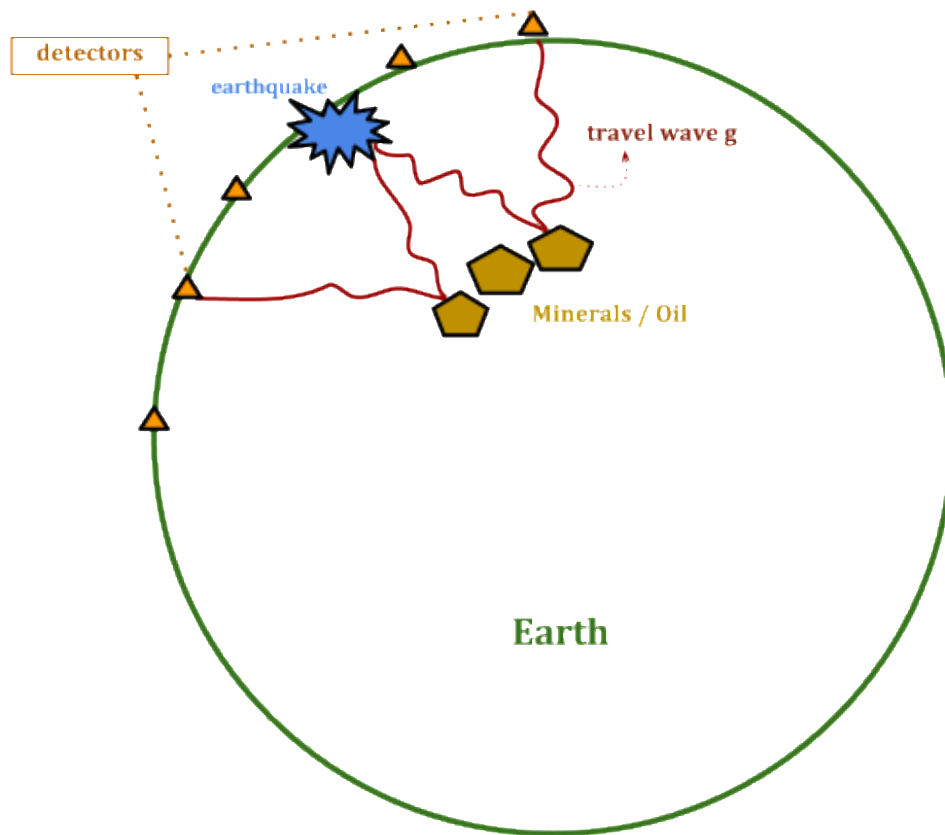
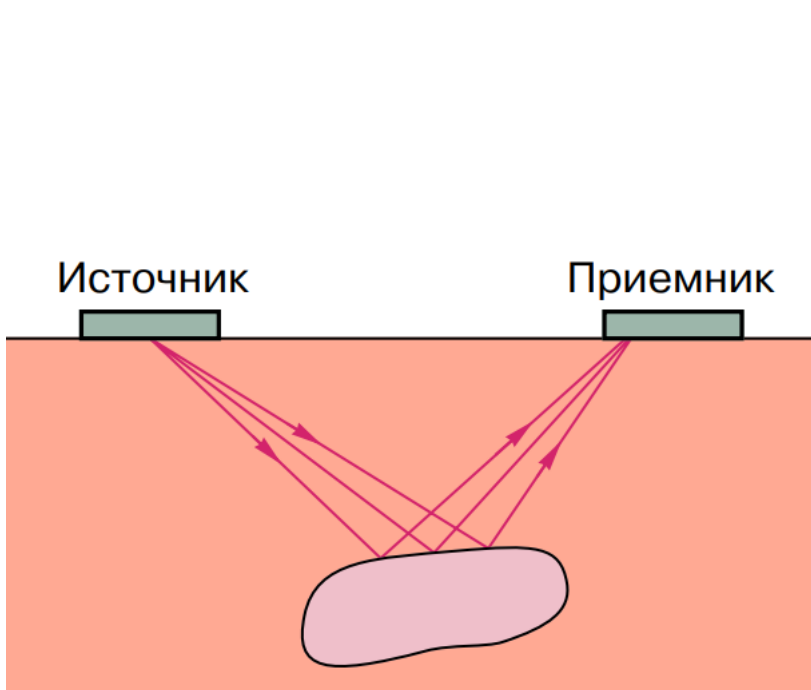


диаграмма ток-напряжение



Примеры обратных задач

- Задачи сейсмологии



Решение обратных задач

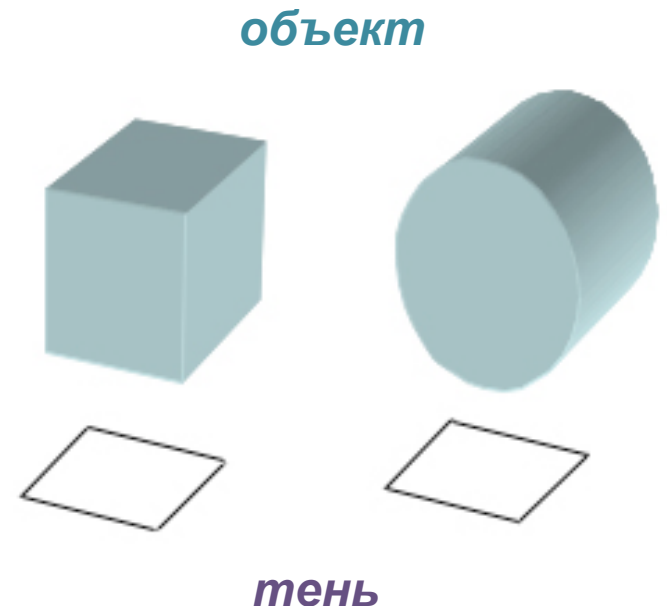
Обратная задача:

Измерено $m = F(x) + n$. Восстановить x .

Шум и погрешности экспериментальных измерений делают большинство обратных задач некорректными.

Нарушено хотя бы одно из трех *условий корректности* постановки задачи (Адамар, 1903):

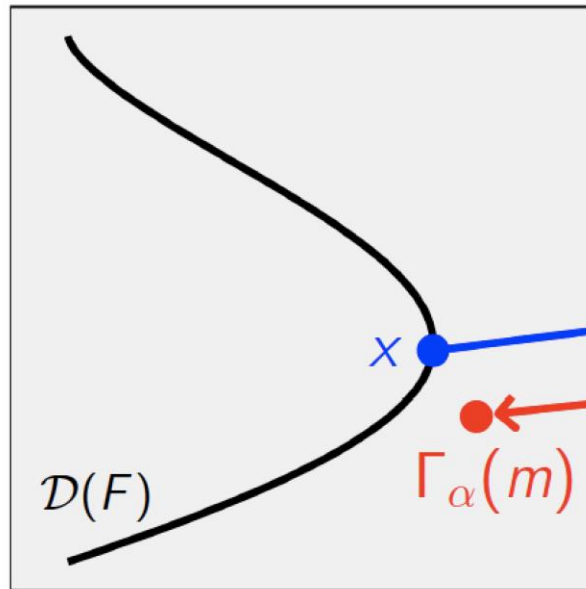
- существования решения
- единственности решения
- устойчивости решения по отношению к малым вариациям данных задачи



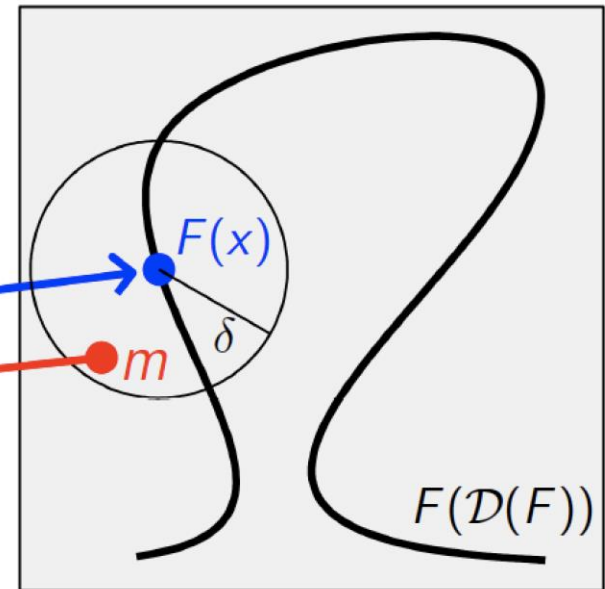
Решение обратных задач

Основной подход к решению обратных задач - **метод регуляризации А.Н.Тихонова**

Пространство модели X



Пространство данных Y



Ошибка восстановления: $\|\Gamma_{\alpha(\delta)}(m) - x\|_X \rightarrow 0$ при $\delta \rightarrow 0$