

Современные задачи и алгоритмы рентгеновской томографии

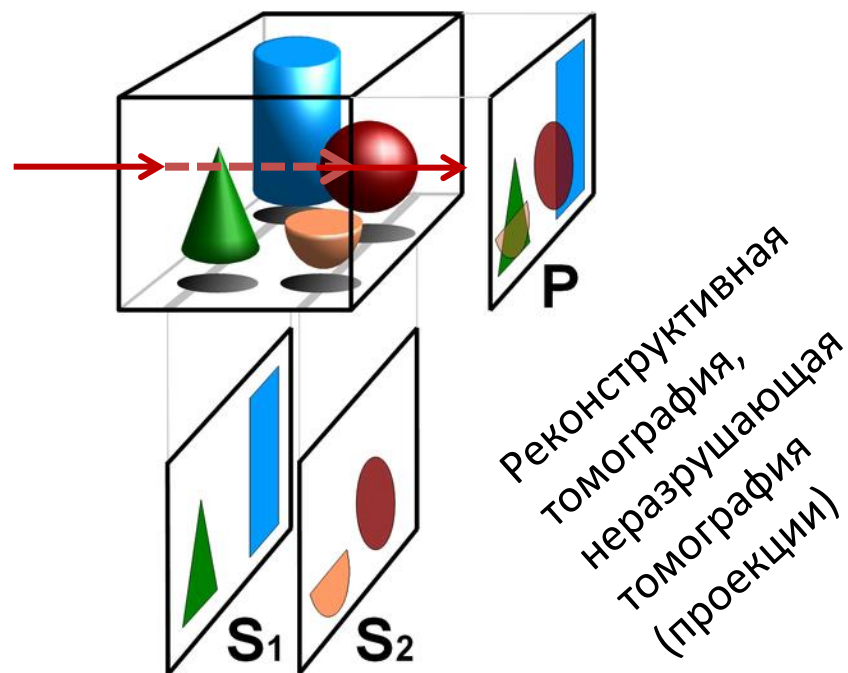
Ингачева Анастасия

Аспирант 1-го года обучения, ФКН

Содержание

- Рентгеновская томография
- Историческая справка
- Прямая и обратная задачи
- Методы решения
- Качество изображений и артефакты
- Флуоресцентная томография
- Примеры использования

Томография



(др.-греч. τομή — сечение) —
получение трехмерного
изображения внутренней
структуры объекта

Анатомическая томография,
разрушающая томография
(срезы)

Историческая справка



Вильгельм Конрад Рентген

Открытие рентген лучей - 8 ноября 1895 года.

В 1901 году Вильгельм Рентген был удостоен первой Нобелевской премии в области физики.

В 1917 Радон открыл интегральное преобразование функции многих переменных, родственное преобразованию Фурье.

В 1963 году
американский физик А.
Кормак решил задачу
томографического
восстановления



первый в истории рентгеновский снимок

В 1969 году английский инженер-физик Г. Хаунсфилд из фирмы EMI Ltd. сконструировал первый компьютерный рентгеновский томограф.

В 1979 году Кормак и Хаунсфилд “за разработку компьютерной томографии” были удостоены Нобелевской премии.

Современные томографы



Медицинский
томограф
Siemens SOMATOM
Emotion 0.5 x 0.8 mm



Лабораторный томограф
SkyScan 1174 compact
6...30 μm



XRADIA nanoXCT
50 nm
с применением зонной пластинки

Рентгеновская трубка

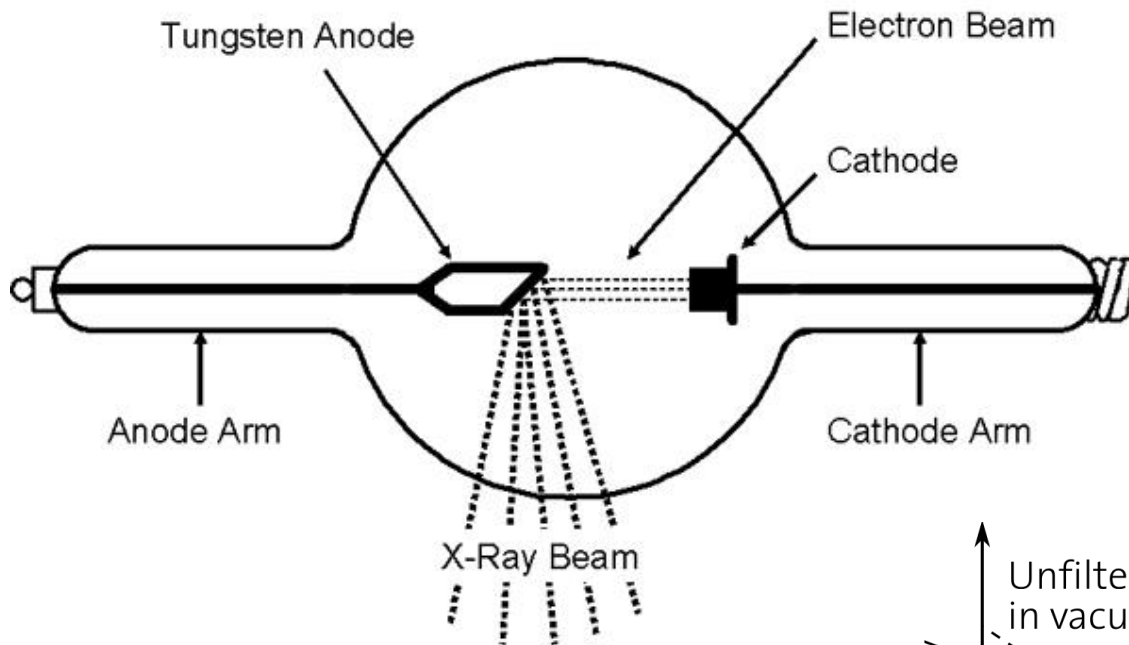


Схема рентген-трубки

Спектр излучения

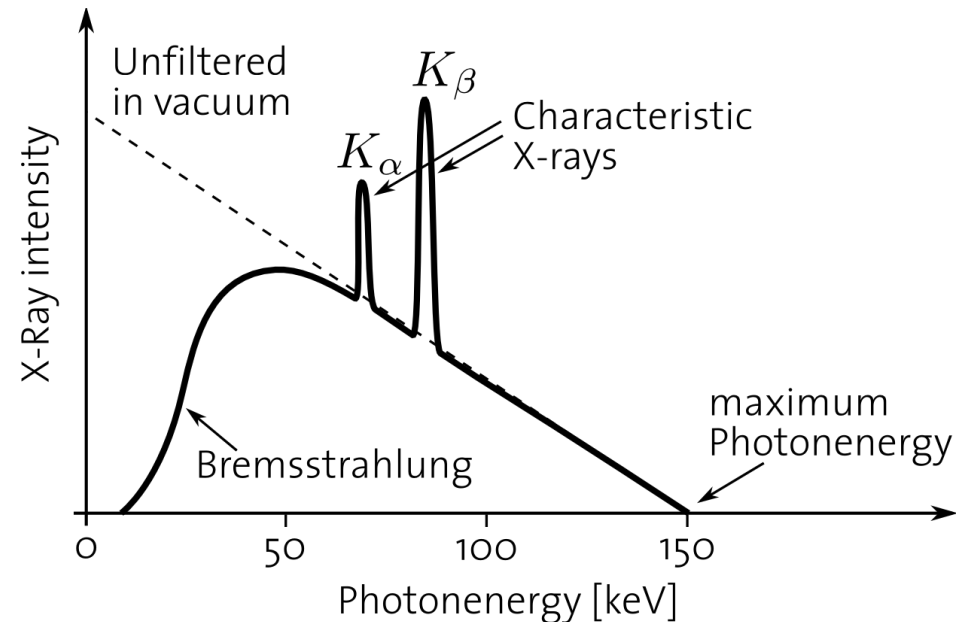
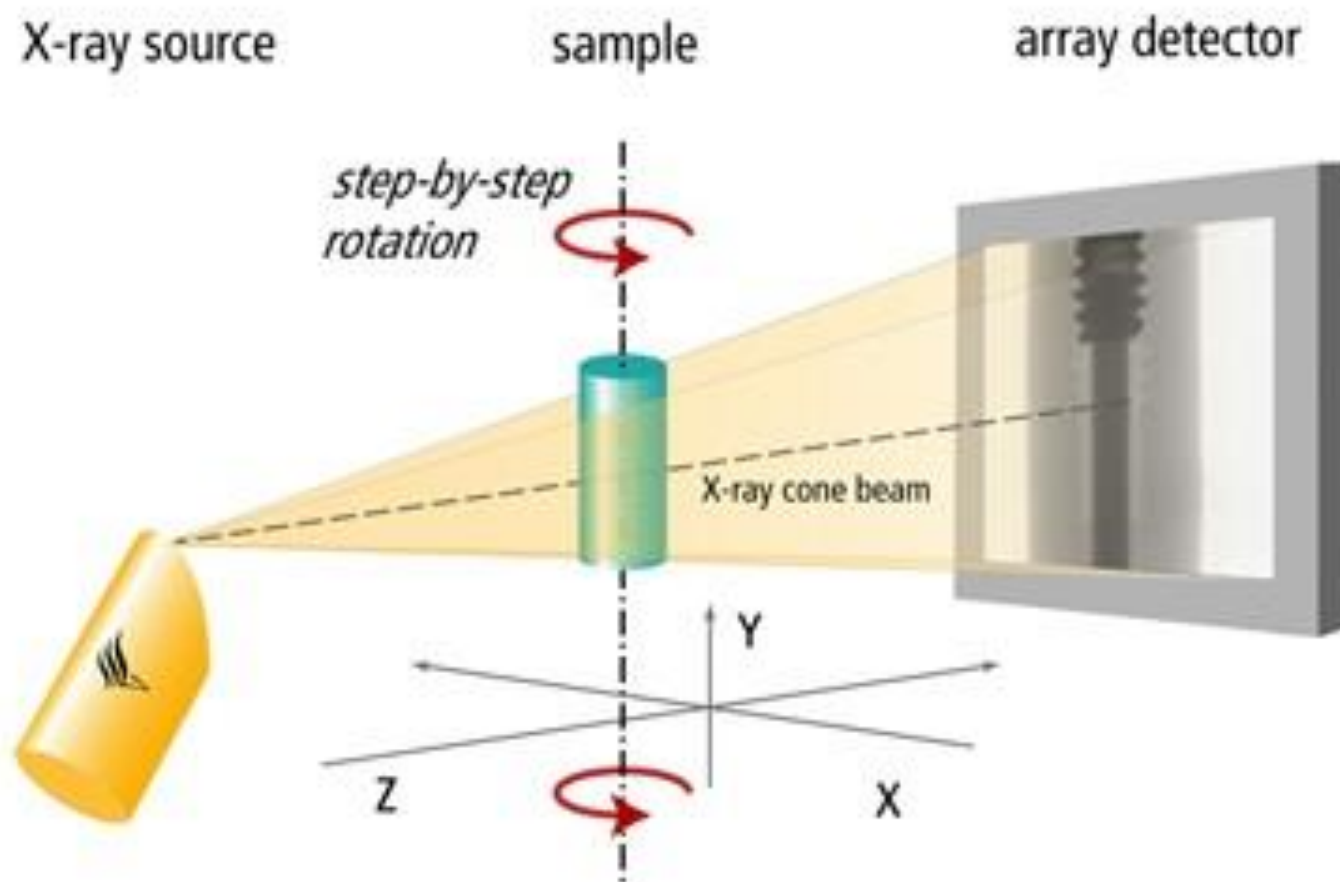
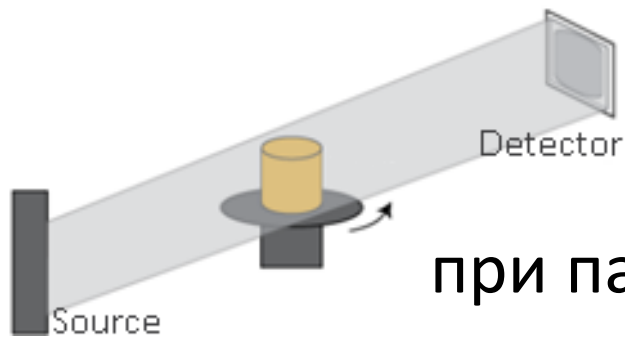


Схема томографа

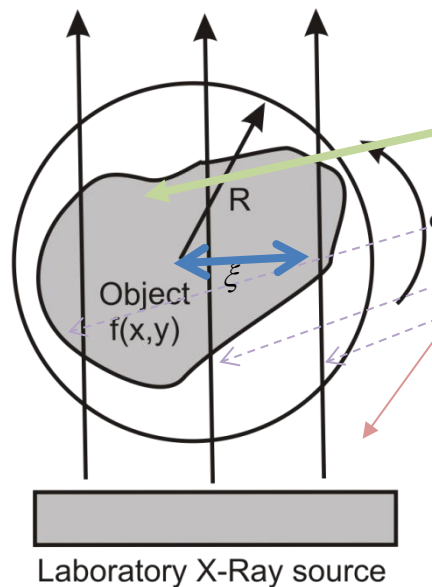




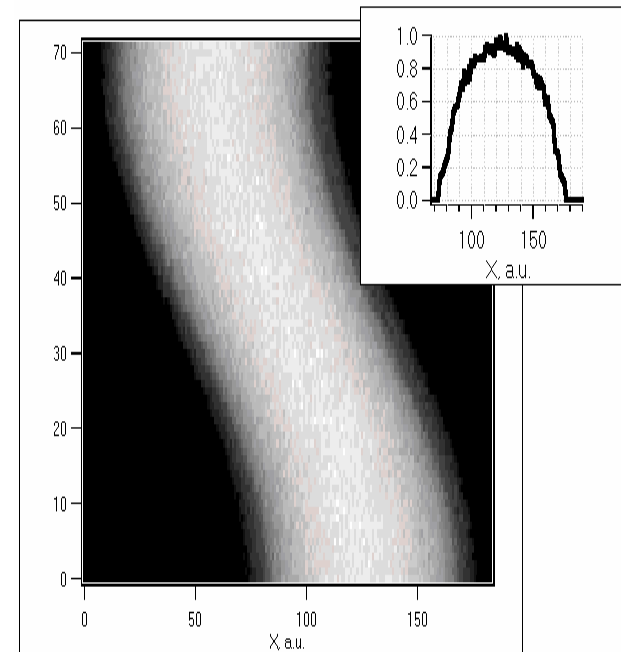
Получение проекций

при параллельном рентгеновском излучении

$$I(\varphi, \xi) = I_0 \exp\left(-\iint f(x, y, z) \delta(x \cos \varphi + y \sin \varphi - \xi) dx dy\right) \quad \forall z, z = 1 \dots N$$



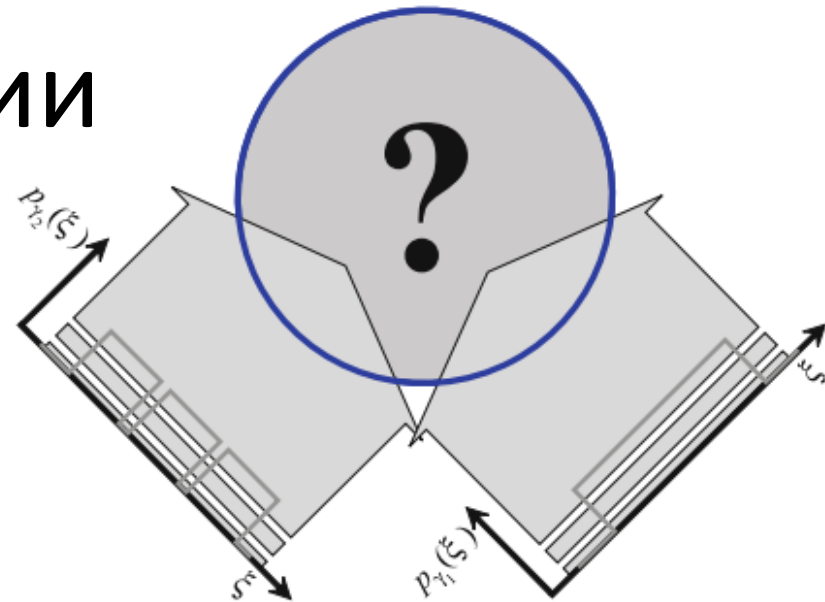
$$p(\varphi, \xi) = \ln\left(\frac{I_0}{I(\varphi, \xi)}\right)$$



Набор проекций -
синограмма

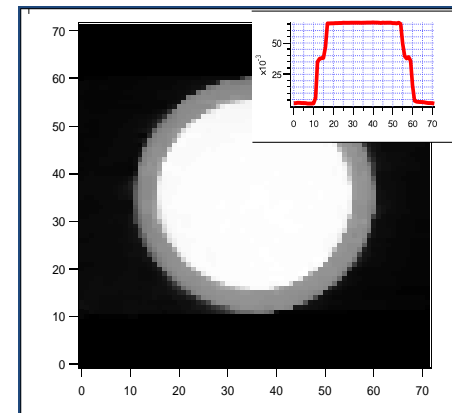
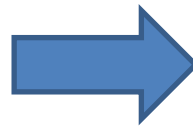
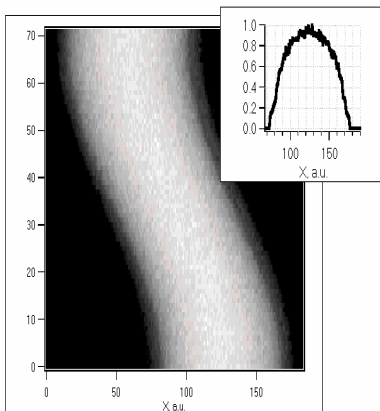
Задача томографии

Задача томографии –
получение трехмерной внутренней
структуры объекта.



$$p(\varphi, \xi) = \ln \left(\frac{I_0}{I(\varphi, \xi)} \right)$$

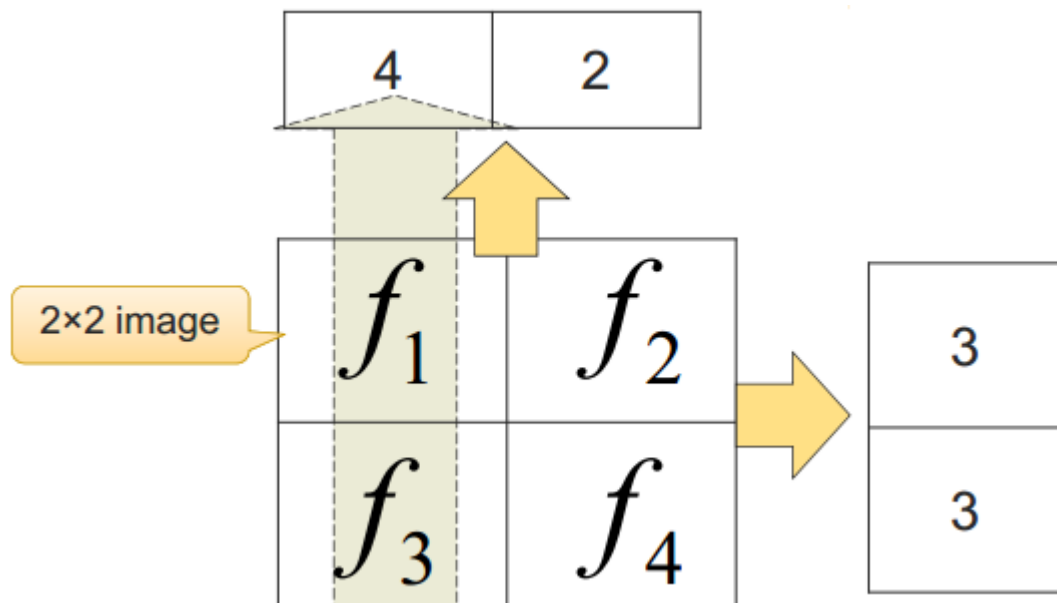
$$f(x, y, z)$$



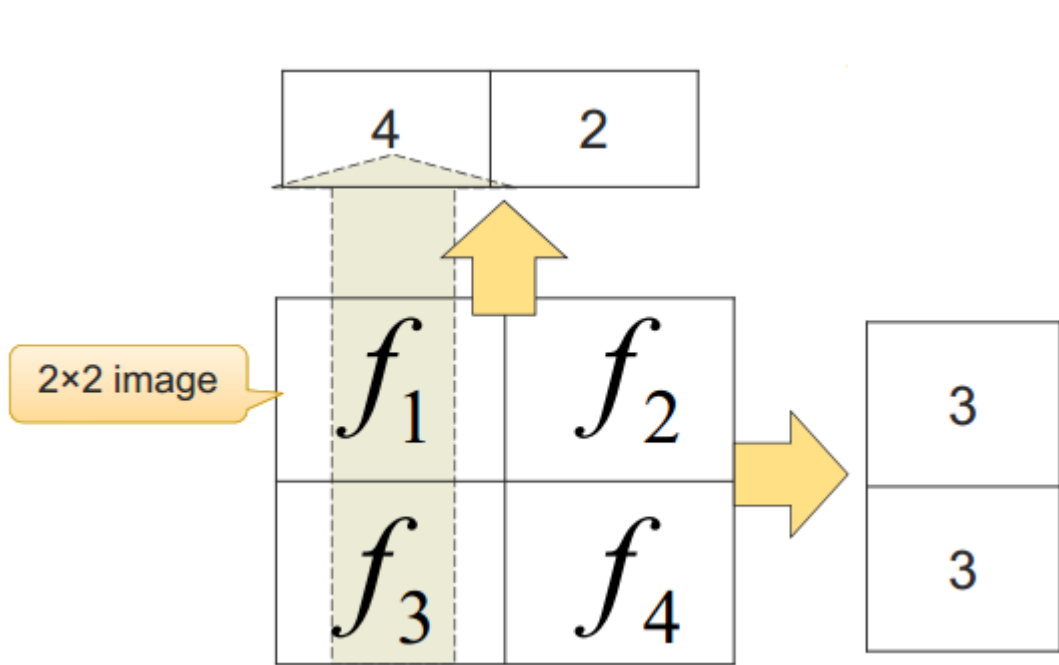
Проекционные данные (Синограмма)

Внутренняя структура объекта

Пример

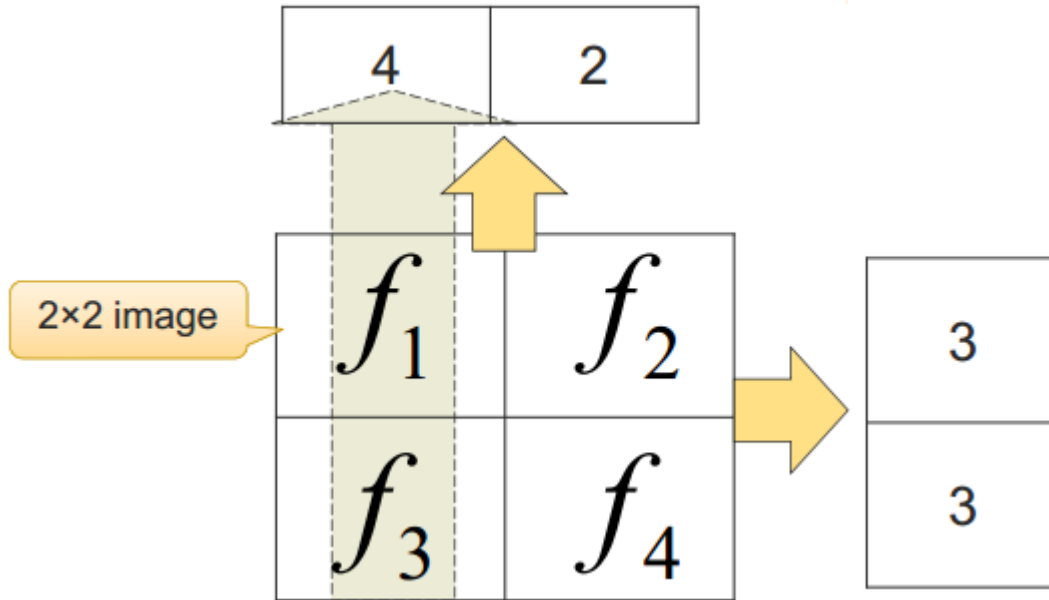


Пример

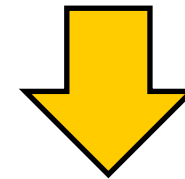


$$\begin{cases} f_1 + f_3 = 4; \\ f_2 + f_4 = 2; \\ f_1 + f_2 = 3; \\ f_3 + f_4 = 3; \end{cases}$$

Пример



$$\begin{cases} f_1 + f_3 = 4; \\ f_2 + f_4 = 2; \\ f_1 + f_2 = 3; \\ f_3 + f_4 = 3; \end{cases}$$



$$\begin{aligned} f_1 &= 2; \\ f_2 &= 1; \\ f_3 &= 2; \\ f_4 &= 1; \end{aligned}$$

Задача решена?

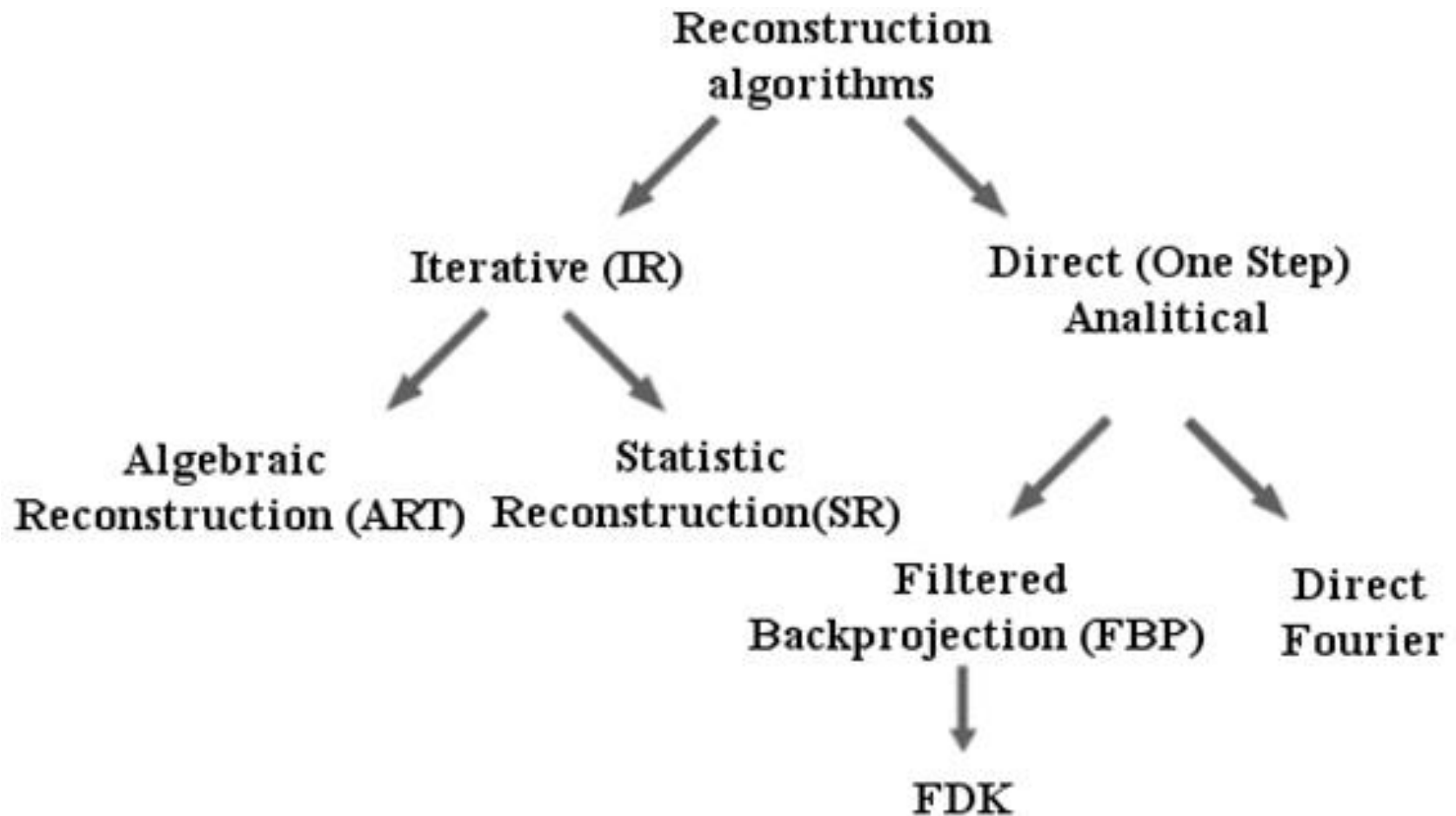
- Для $N \times N \times N$ при $N = 1024$, получаем систему более чем из миллиона неизвестных. Прямые методы решения СЛАУ не подходят.
- Несовместность системы – из-за возникновения шума при реальных экспериментах.
- Недоопределенность системы – для уменьшения дозы излучения, сокращаем число углов, а значит и количество уравнений.

Пример недоопределенности

<

Число
неизвестных
больше чем число
уравнений.
Система
недоопределена.
Решений –
бесконечно
много.

Методы решения задачи томографии

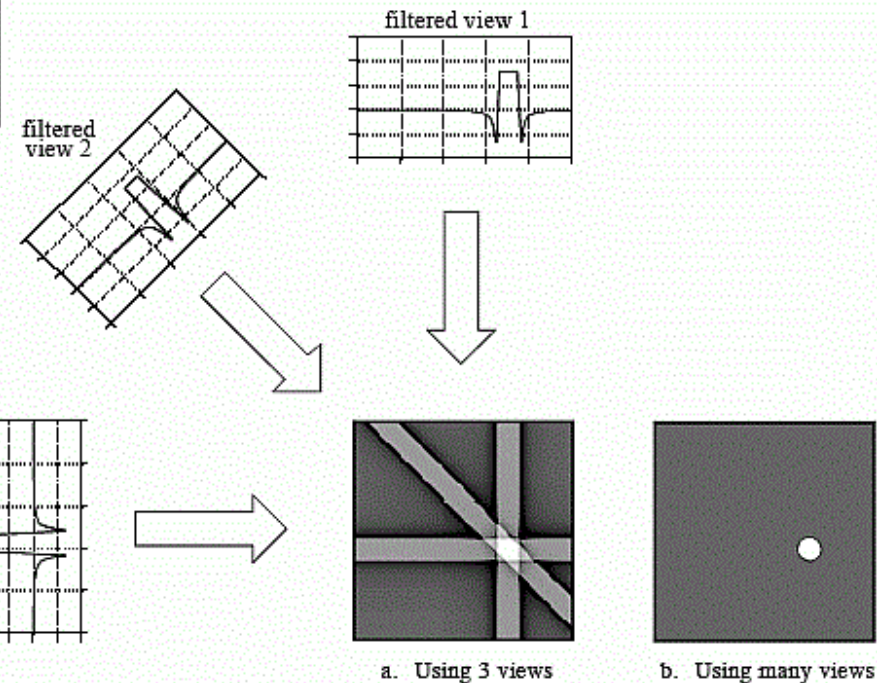
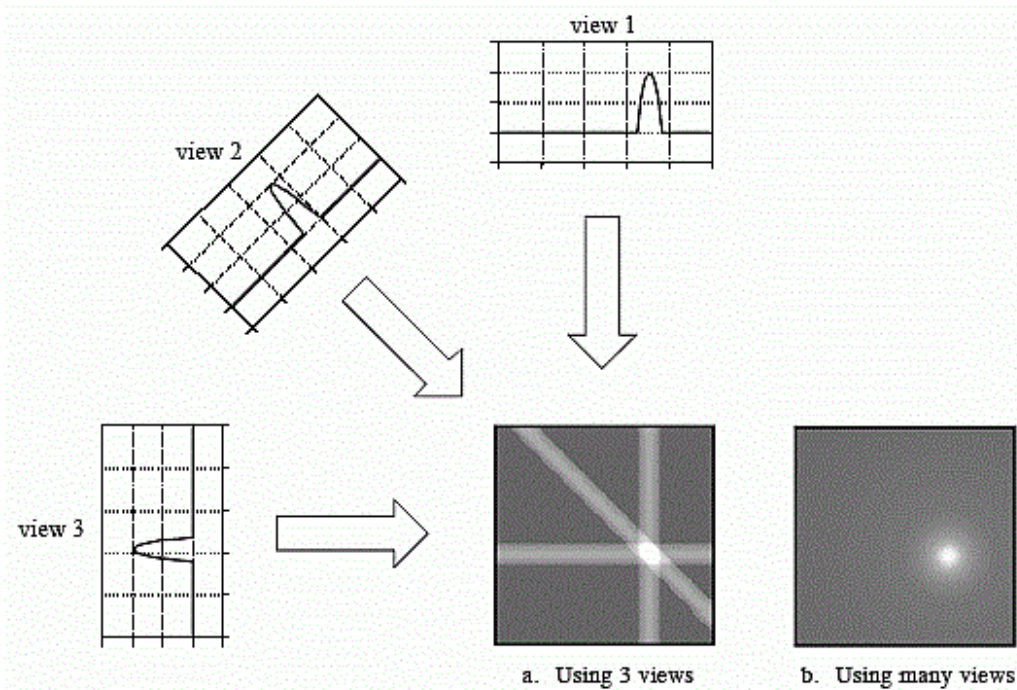


Интегральные методы

$$p_{(x,y)}(R) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x \cos(\alpha) + y \sin(\alpha) + R, \alpha) d\alpha$$

$$f(x, y) = -\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{1}{R} dp_{(x,y)}(R)$$

FBP



Функции ядра для FBP

$$h[0] = 1$$

$$h[k] = 0 \quad \text{for even values of } k$$

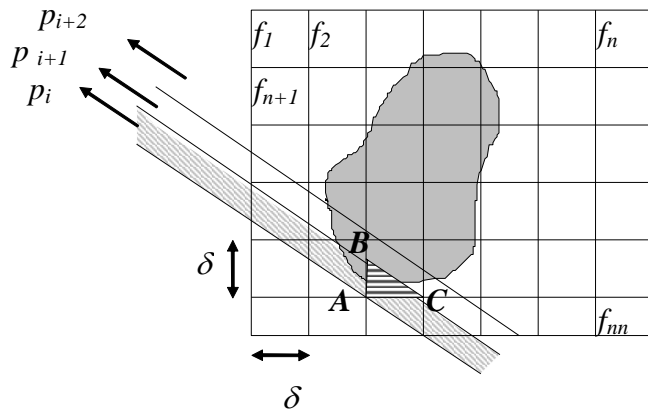
$$h[k] = \frac{-4/\pi^2}{k^2} \quad \text{for odd values of } k$$

Алгебраические методы

$$I(\varphi, \xi) = I_0 \exp(-\iint f(x, y) \delta(x \cos \varphi + y \sin \varphi - \xi) dx dy)$$

$$p(\varphi, \xi) = \ln \left(\frac{I_0}{I(\varphi, \xi)} \right)$$

Заменим интеграл на сумму до применения метода реконструкции



$$p_j = \sum_{i=1}^N f_i w_{ij}, j = 1, \dots, M$$

i – число пикселей

M – число точек на каждой проекции

χ – число проекционных углов

W_{ij} – вклад i -го пикселя в j -ю лучевую сумму

Алгебраический метод ART

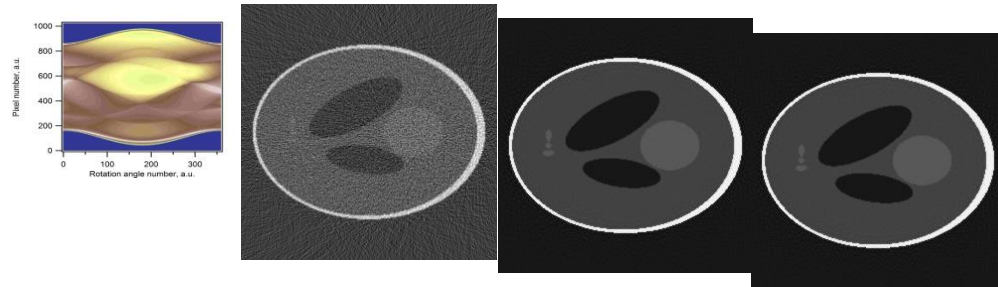
итерационная схема

$$\vec{f}^{k+1} = \vec{f}^k + \gamma \frac{p_j - (\vec{f}^k, \vec{w}_j)}{(\vec{w}_j, \vec{w}_j)} \vec{w}_j$$

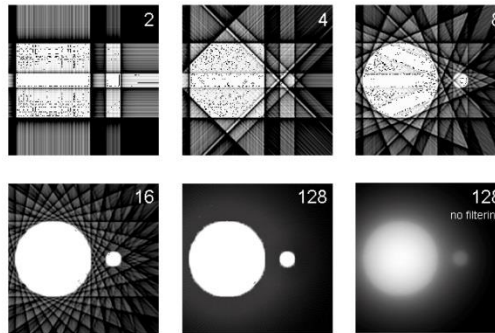
γ – релаксационный параметр (Ros D., C. Falcon, I. Juvells, J. Pavia. 1996. "The influence of a relaxation parameter on SPECT iterative reconstruction algorithms." Phys. Med. Biol. 41, No.5, 925-937).

Качество полученных изображений

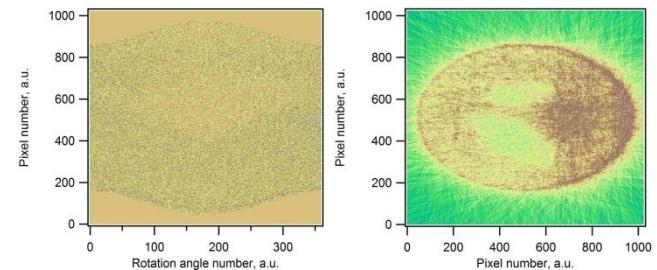
- Метод реконструкции



- Число ракурсов



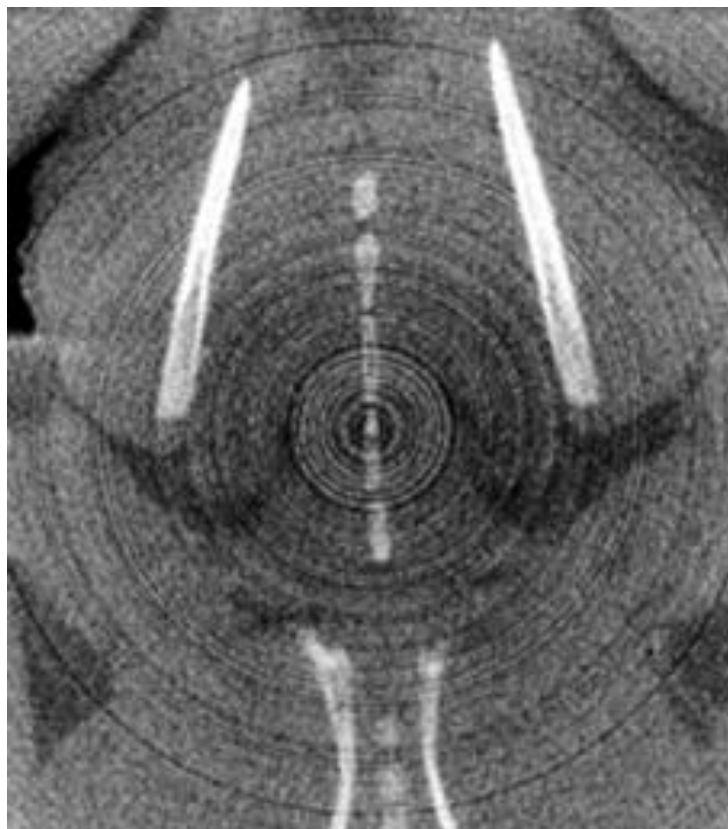
- Наличие шума в измерениях



Артефакты

- Кольцевые артефакты
- Артефакты из-за наличия шума в изображении
- Металлические артефакты
- Увеличение жесткости излучения
- Артефакты «Вне поля исследования»
- Артефакты движения объекта исследования

Кольцевые артефакты



Кольцевые артефакты,
не настроена головка
держателя образца



Изображение без
артефактов, правильная
настройка томографа

Артефакты из-за наличия шума в изображении



Шум в изображении



Изображение без шума

Шум возникает из-за статистической погрешности с низким числом фотонов, в результате в случайном порядке появляются тонкие светлые и темные полосы.

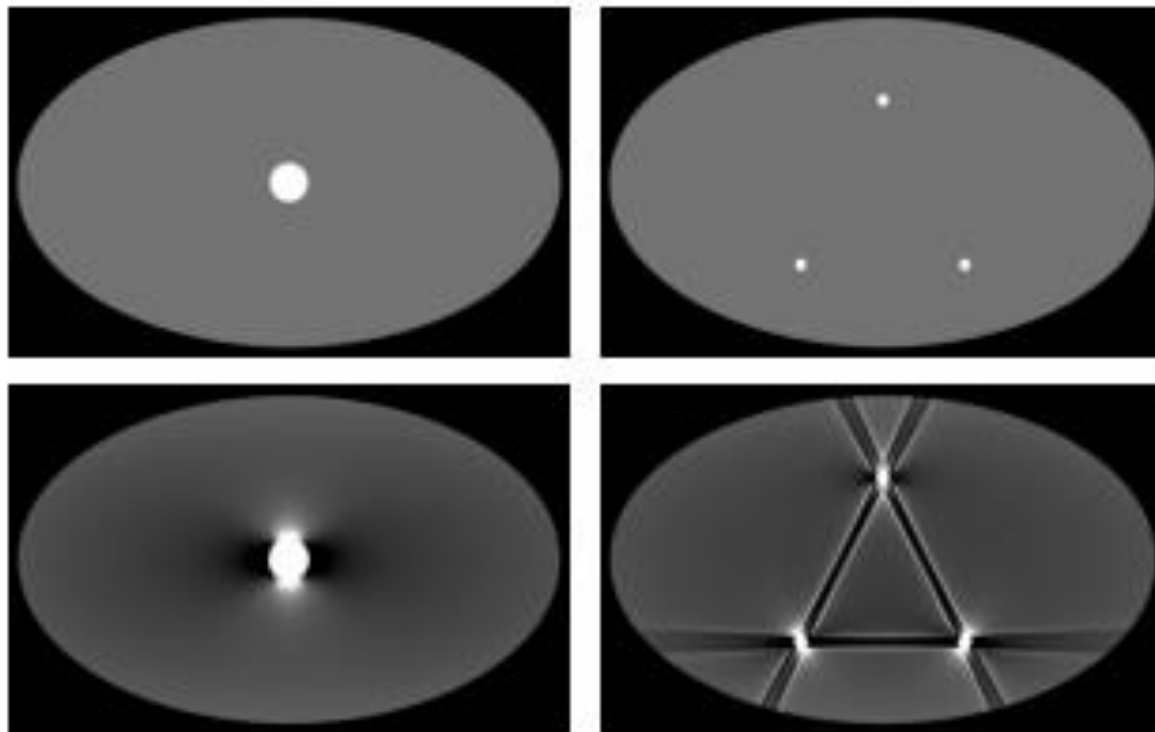
Металлические артефакты



Металлические артефакты возникают из-за высокого коэффициента поглощения.

Металлические артефакты ярко выражены при наличии металла с высоким атомным числом, таких как железо или платина, и менее выражены при металле с низким атомным числом, например титаном.

Увеличение жесткости излучения

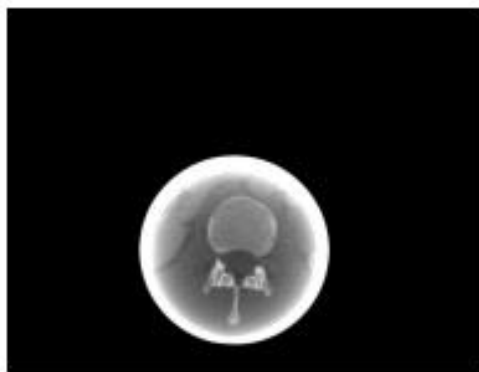
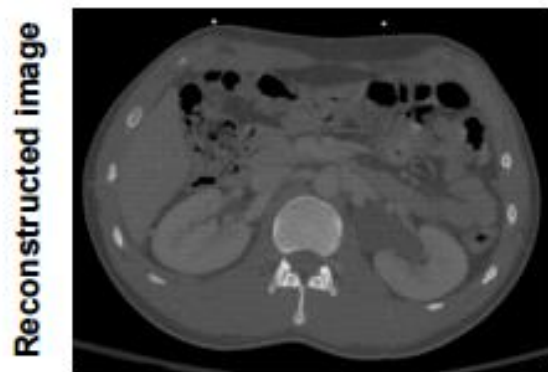
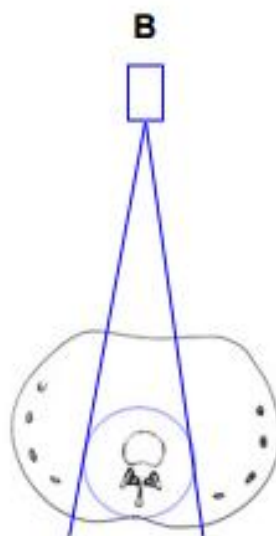
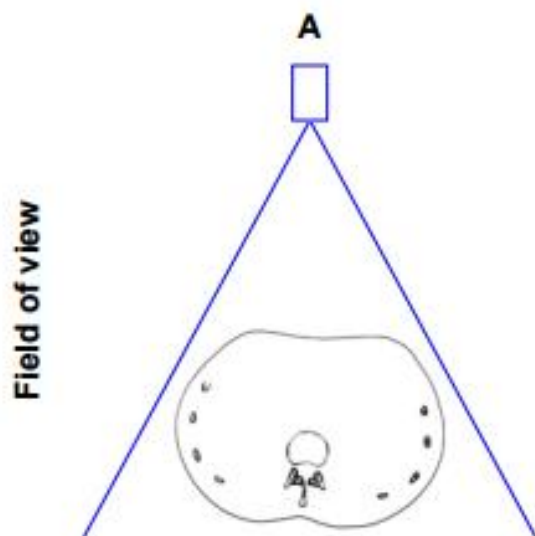


Проявление артефакта:

- темные полосы возникают вдоль линий наибольшего ослабления.
- свечение по краям – эффект чаши.

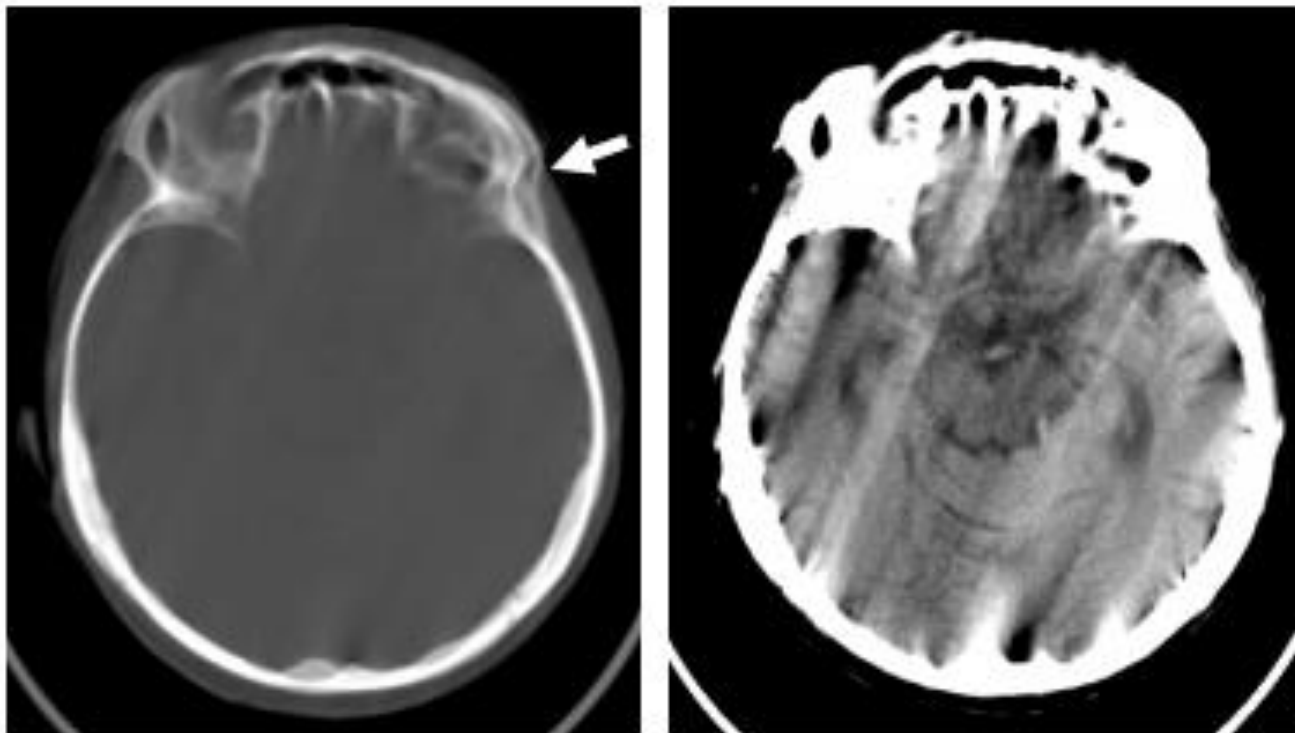
Имитация КТ-изображений без (верхний ряд) и с (нижний ряд) артефактом увеличения жесткости излучения.

Артефакты «Вне поля исследования»



А. Полное поле зрения.
В. Ограниченное поле зрения, синограмма вне поля зрения заполняется нулями до реконструкции. Это создает острый край, который создает яркий ободок на краю области реконструкции.

Артефакты движения



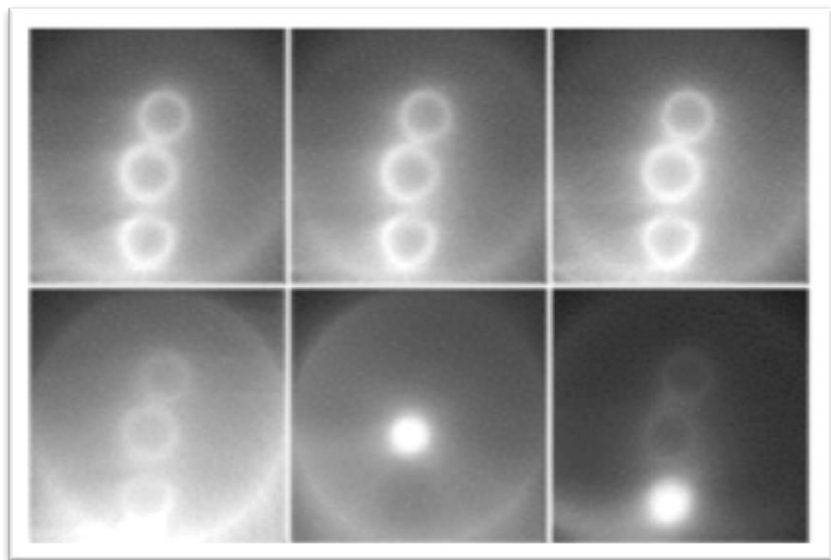
Движение вызывает размывание и двойные изображения (слева), а также длинные полосы диапазона (справа)

План на аспирантуру – первая часть

- Разработка и исследование алгоритмов томографии менее подверженных возникновению артефактов.
- Разработка алгоритмов, с переходом системы ограничений заданных в виде равенств, к ограничениям заданных в виде неравенств.
- Регуляризационные методы.

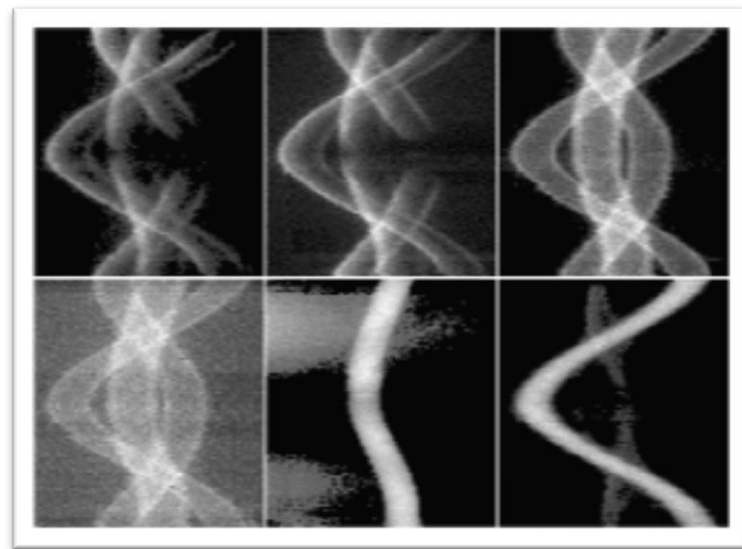
Флуоресцентная томография

Задача флуоресцентной томографии –
восстановить распределение элементов в образце.



Вектор изображений (для
каждого химического элемента
свое изображение)

Проекционные данные – вектор
синограмм, новая переменная – энергия.

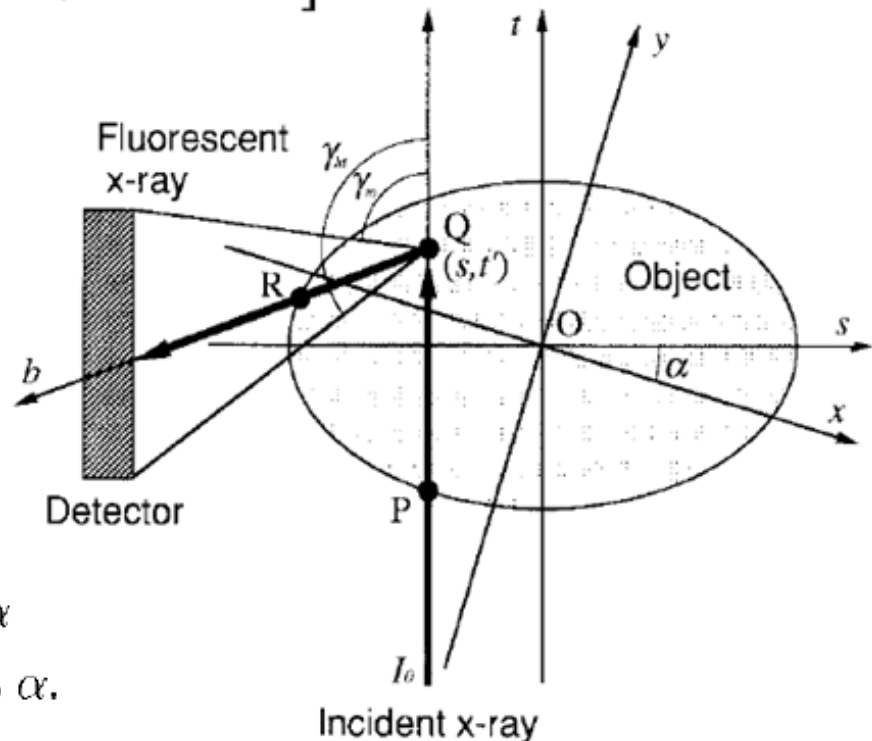


Набор синограмм
(Слева направо, сверху вниз)
Ba-L α and Ba-L β , Sr-K α ,
Zr-K α , Cu-K α , As-K α

Уравнение для ФХСТ

$$I_{fl}(s, \alpha, E_i, E_0) = \int_{-\infty}^{\infty} I_2(s, t', E_i, E_0) \int_{\gamma_m}^{\gamma_M} \exp\left[-\int_0^{\infty} \mu_i(s - b \cos \gamma, s + b \sin \gamma) db\right] d\gamma dt'$$

$$I_2(s, t', E_i, E_0) = K(E_0, i) \rho(s, t', i) I_0 \exp\left[-\int_0^{t'} \mu_0(s, t) dt\right] \Delta t'$$

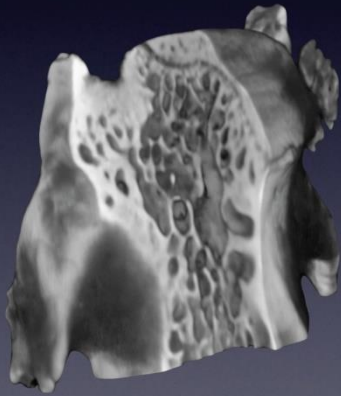


$$s = x \cos \alpha + y \sin \alpha$$

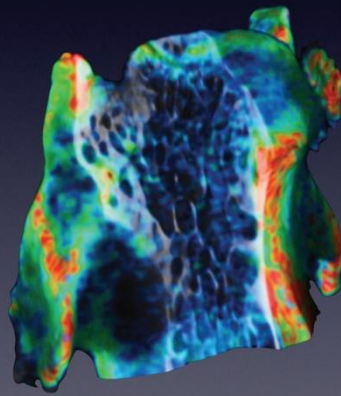
$$t = -x \sin \alpha + y \cos \alpha.$$

Пример XFCT

СТ



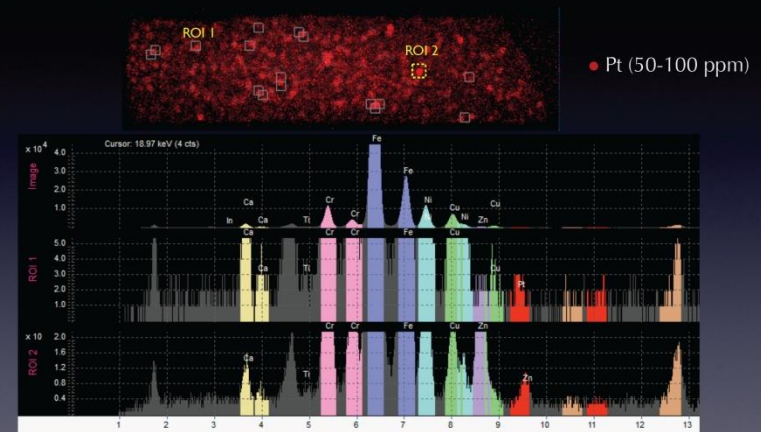
СТ+XRF



Проблема –
флуоресцентное
излучение очень
слабое. Сигнал от
внутренних тканей не
доходит.

Флуоресцентный анализ крысиного
позвонка со стронцием.

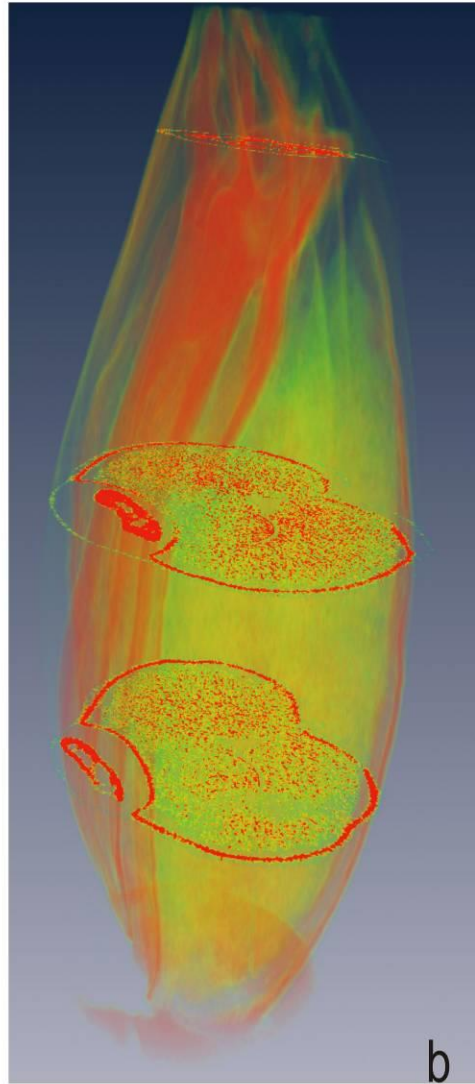
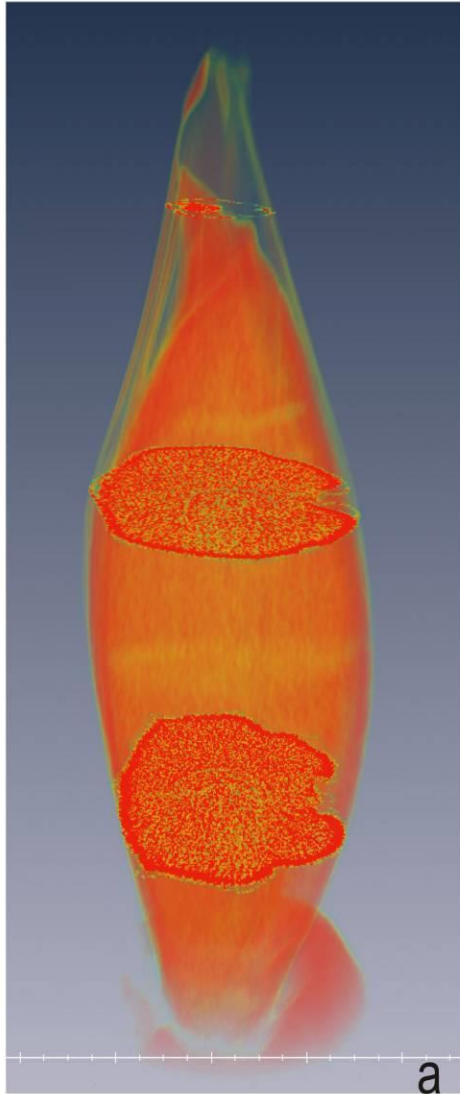
Trace level detection



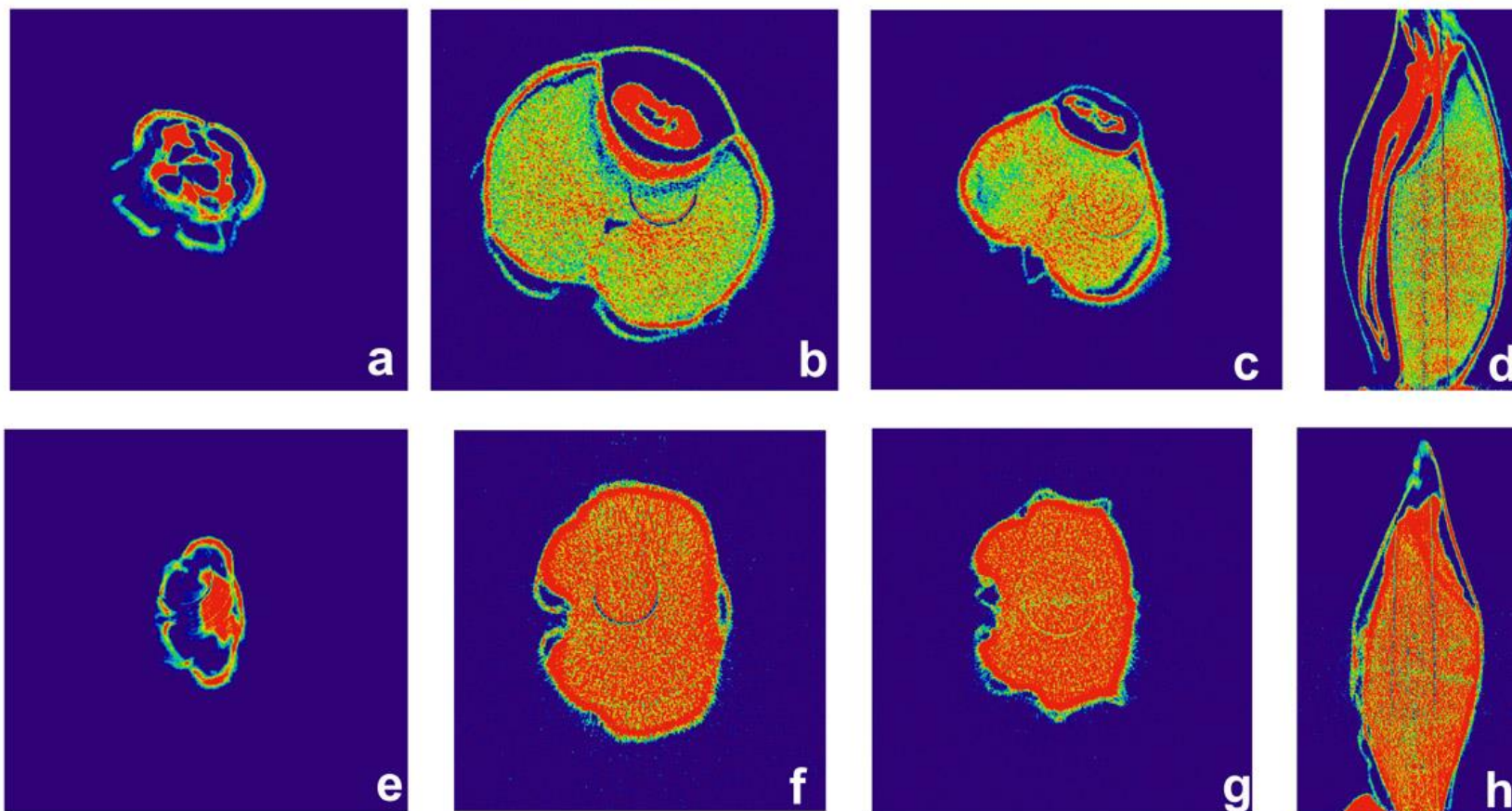
План на аспирантуру – вторая часть

- Решение прямой задачи флуоресцентной томографии;
- Разработка и исследование алгоритмов с учетом вторичного излучения.

Примеры исследованных объектов



Объемные
изображения:
a - зерновка ячменя
сорта «Скарлет»,
b – вид зерновки
после проращивания
ее на солод
(корешки удалены)



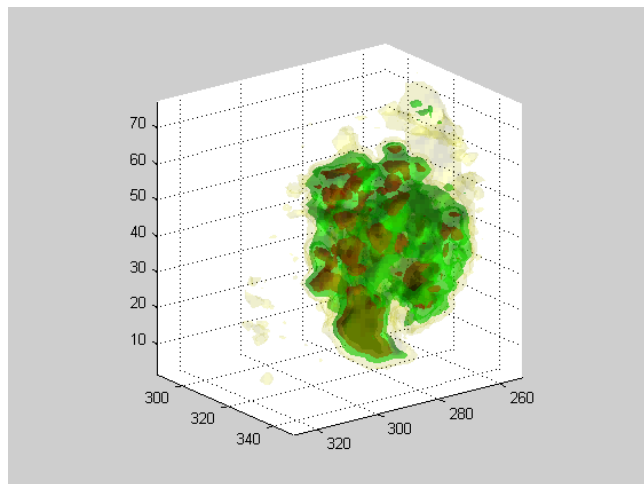
Поперечные срезы зерновки солода сорта «Скарлет» до и после проращивания ее на солод: а,е – основание зерновки, b,f – средняя часть зародыша зерновки, c,g – средняя часть эндосперма зерновки. d, h – поперечное сечение

Эпифиз человека

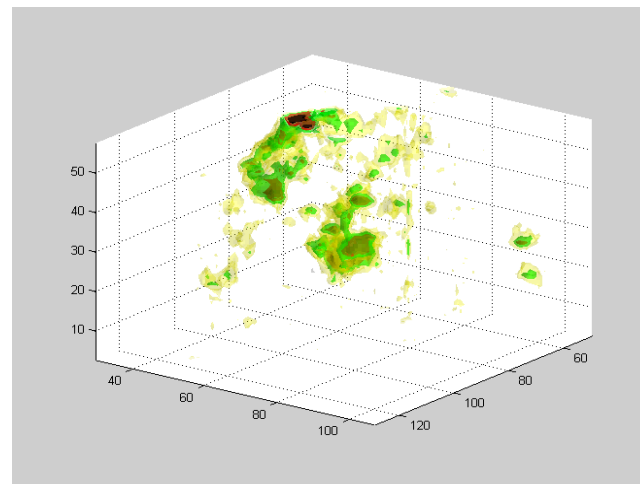


Москва. МГУ им. М.В Ломоносова. Физический факультет. Кафедра ОФиВП,
20 декабря 2005 г.

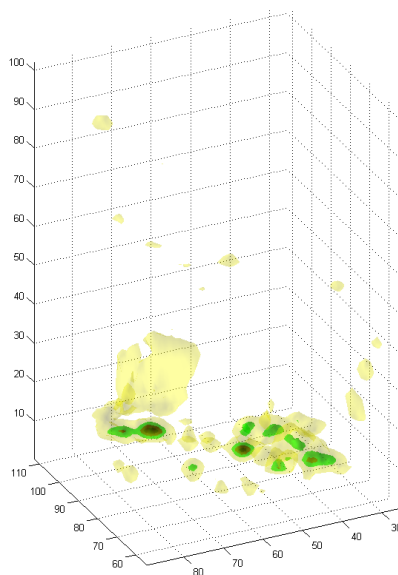
Эпифиз здорового человека



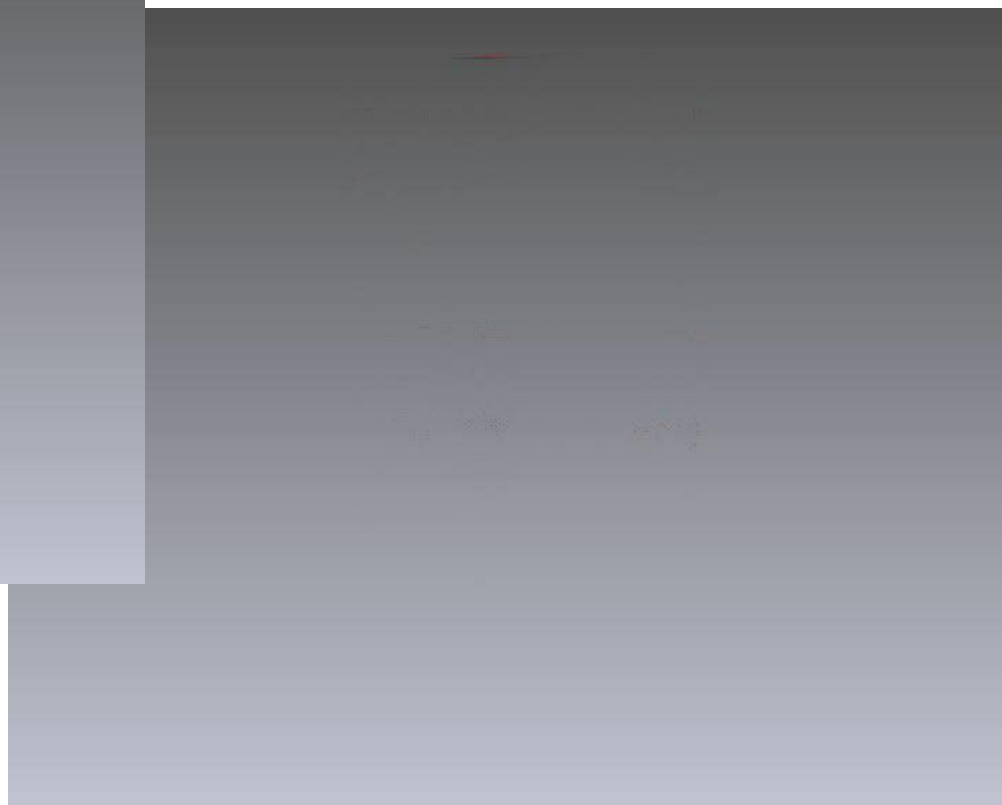
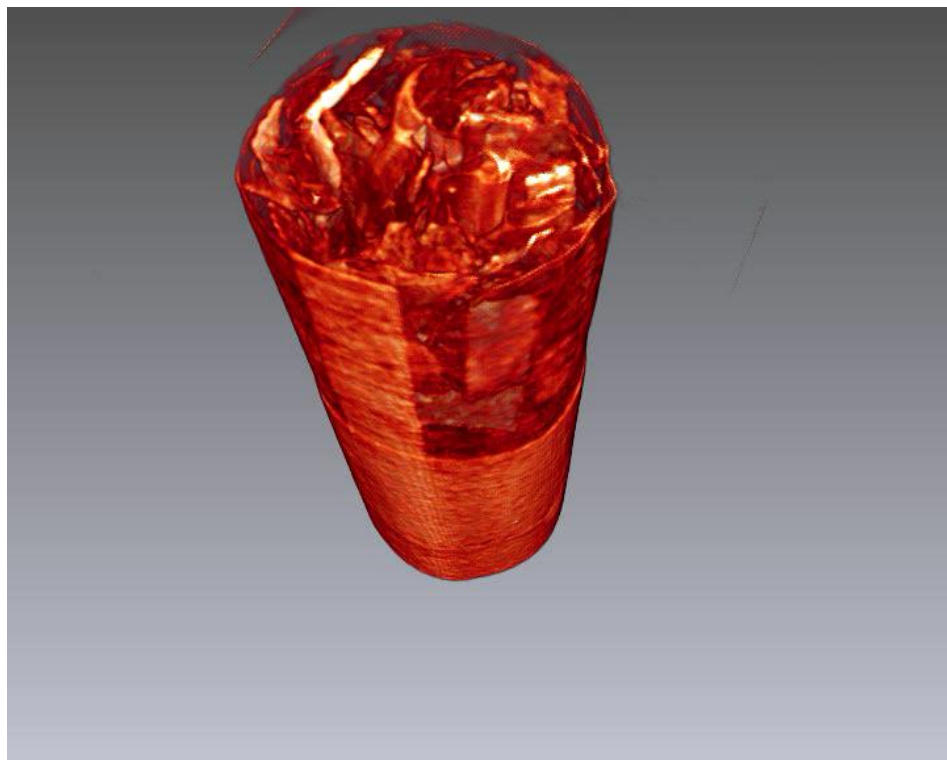
Эпифиз при болезни Альцгеймера



Эпифиз при шизофрении



3D изображение сигареты



Спасибо за внимание!

