

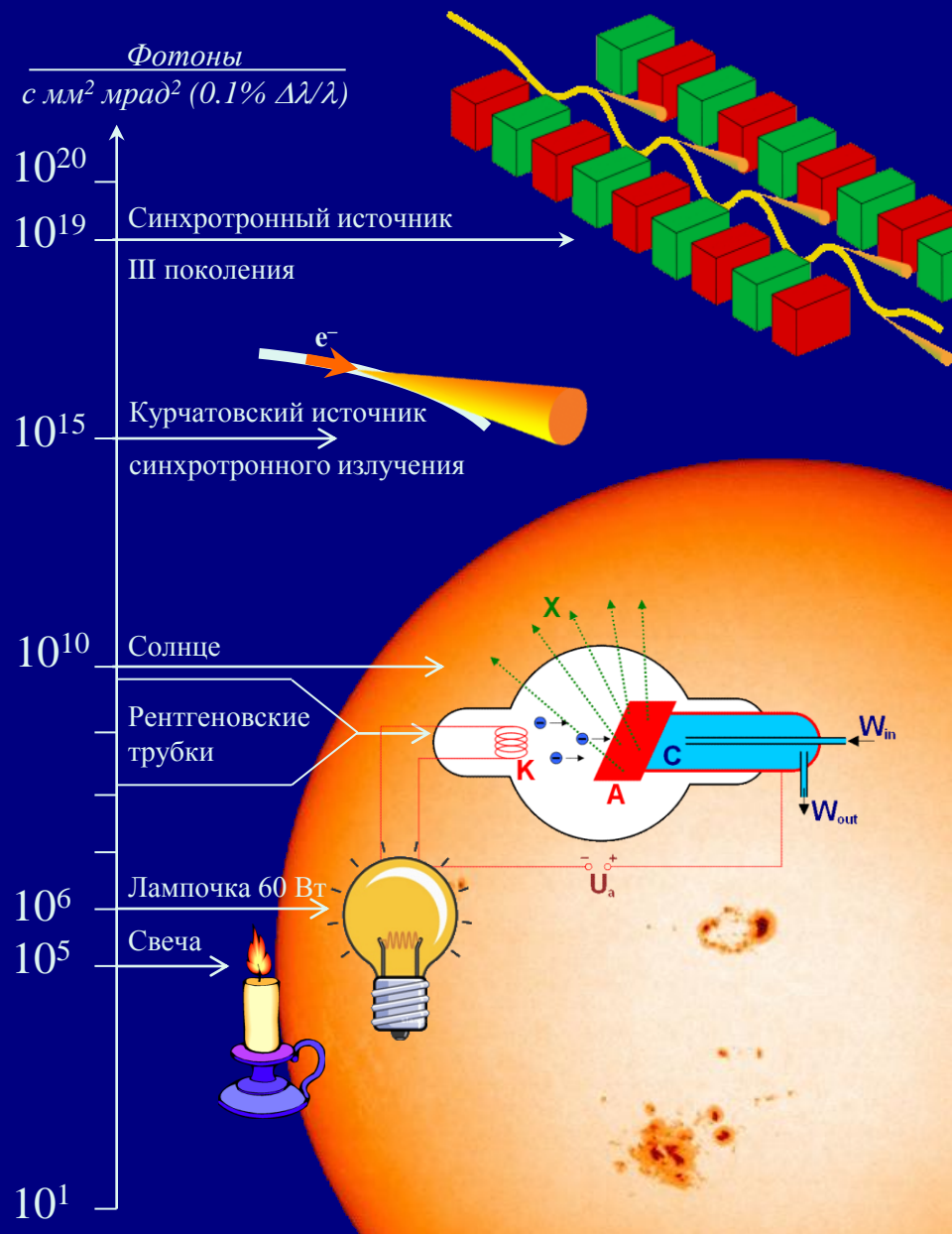


РЕНТГЕНОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СИНХРОТРОННОМ ИЗЛУЧЕНИИ С АБСОРБЦИОННЫМ И ФАЗОВЫМ КОНТРАСТОМ

**Александр Альбертович Калоян¹,
Екатерина Сергеевна Коваленко¹,
Алексей Валентинович Пахневич²,
Константин Михайлович Подурец¹**

- 1) Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва
- 2) Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва

Яркость различных источников света



Курчатовский источник синхротронного излучения

Единственный в России специализированный источник синхротронного излучения действует в Курчатовском институте с 2000 г. Источник является основой центра коллективного пользования, ориентированного на исследования в различных областях физики, химии, материаловедении, биологии и других областях науки и техники. Одним из направлений, развиваемым на Курчатовском источнике СИ, является интроскопия и томография.



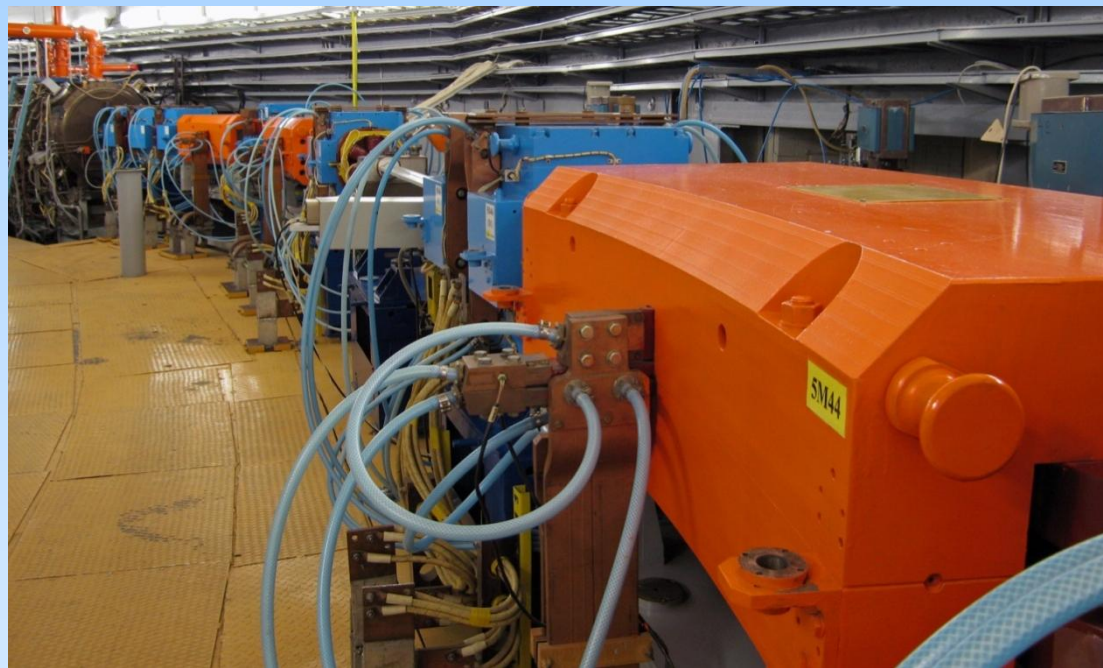
Здание Курчатовского источника синхротронного излучения

Что такое синхротронное излучение?

Синхротронное (или магнитотормозное) излучение – это электромагнитное излучение релятивистских заряженных частиц в магнитном поле.



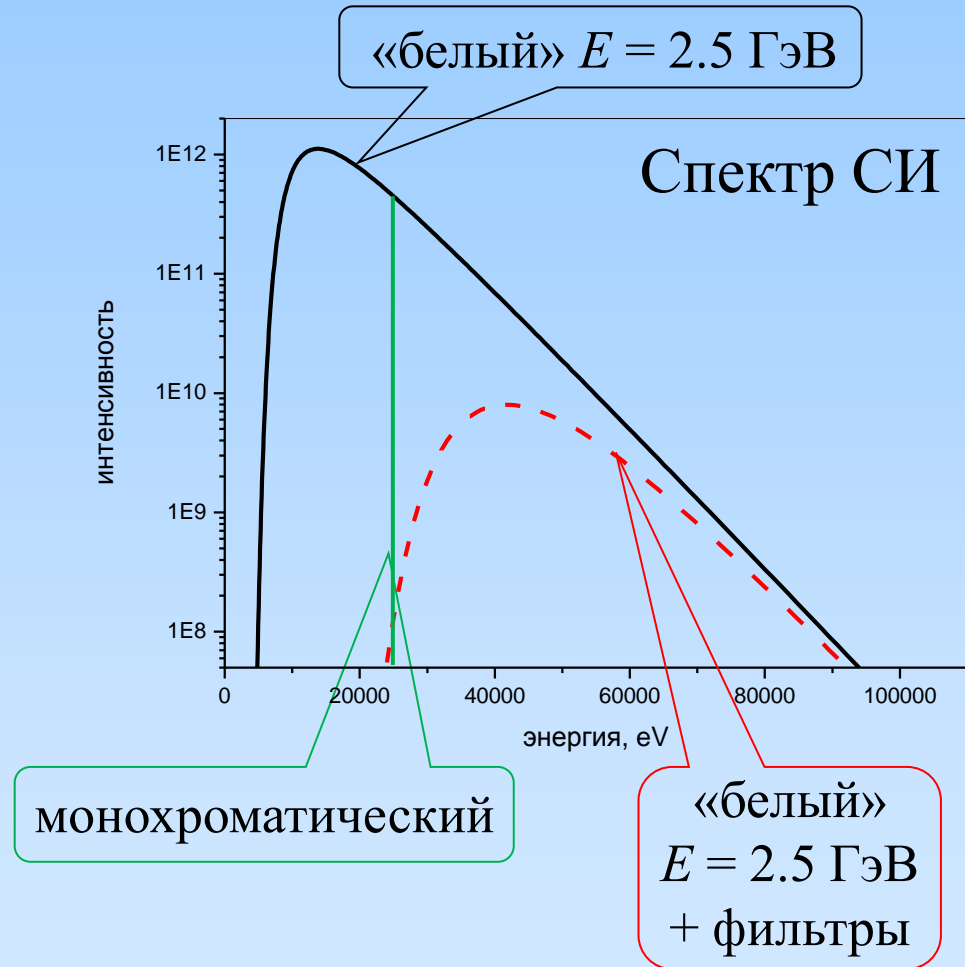
Схема возникновения синхротронного излучения



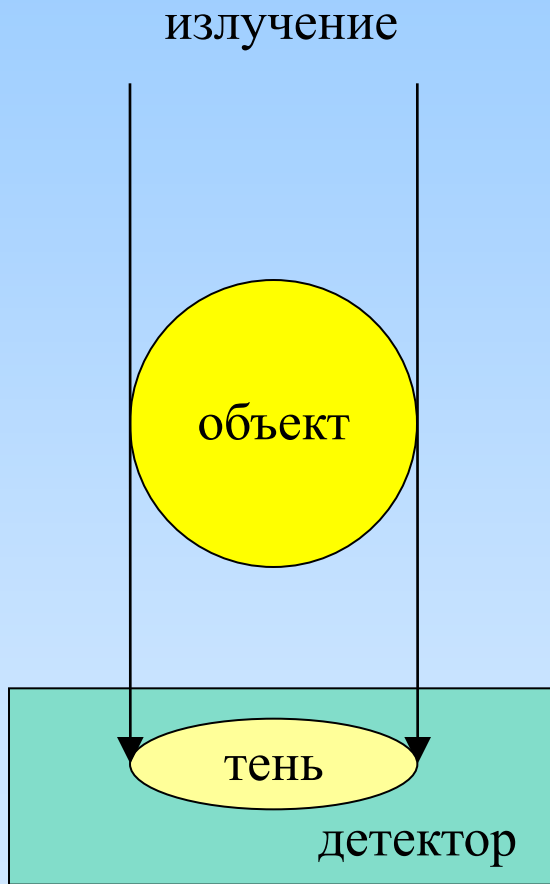
Накопитель Сибирь-2

Особенности СИ

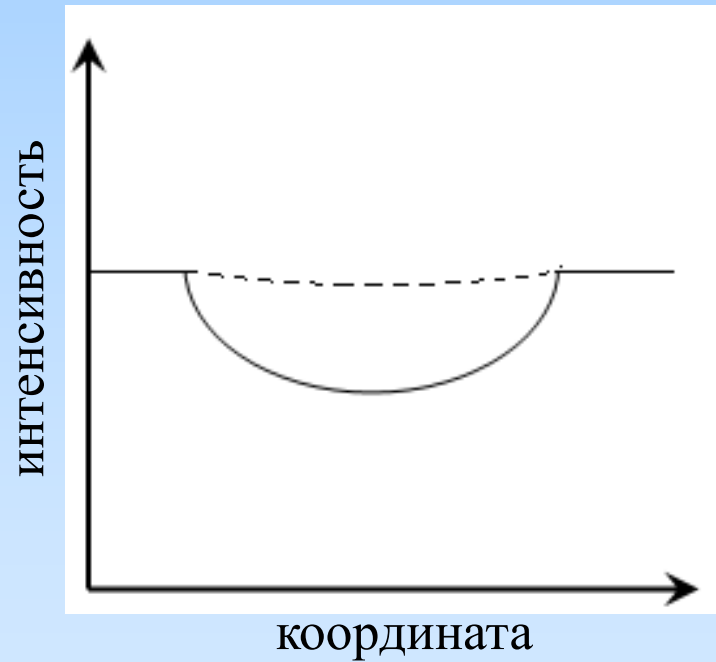
1. Высокая яркость
2. Коллимация
(разрешение)
3. Широкий
энергетический спектр
и возможность
монохроматизации
4. Рефракционный
контраст



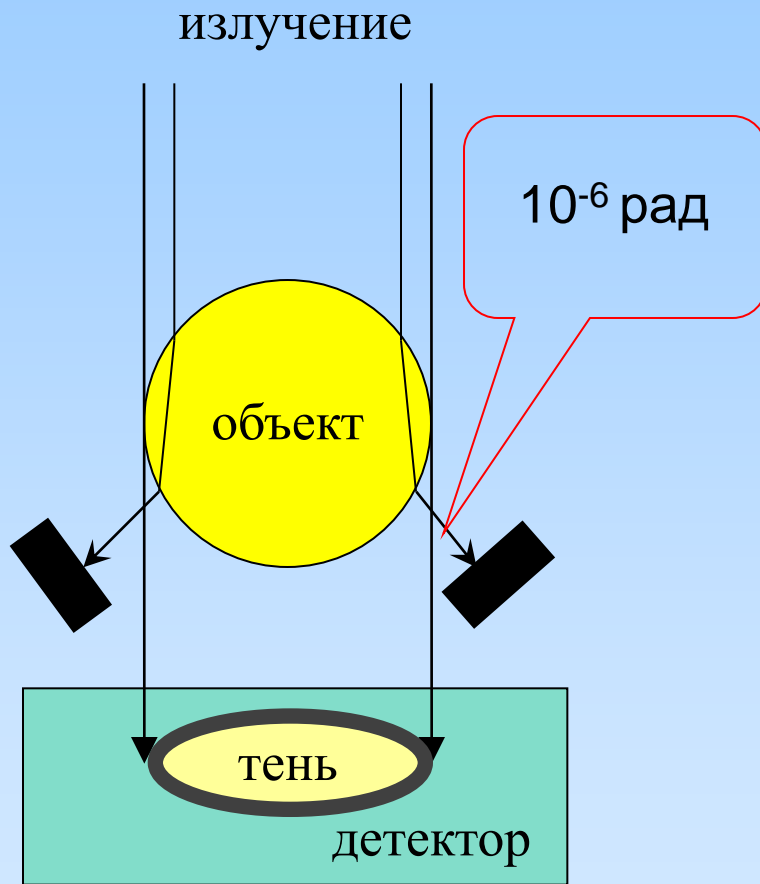
Понятие о рефракционном контрасте



Абсорбционный контраст



Понятие о рефракционном контрасте



Рефракционный контраст

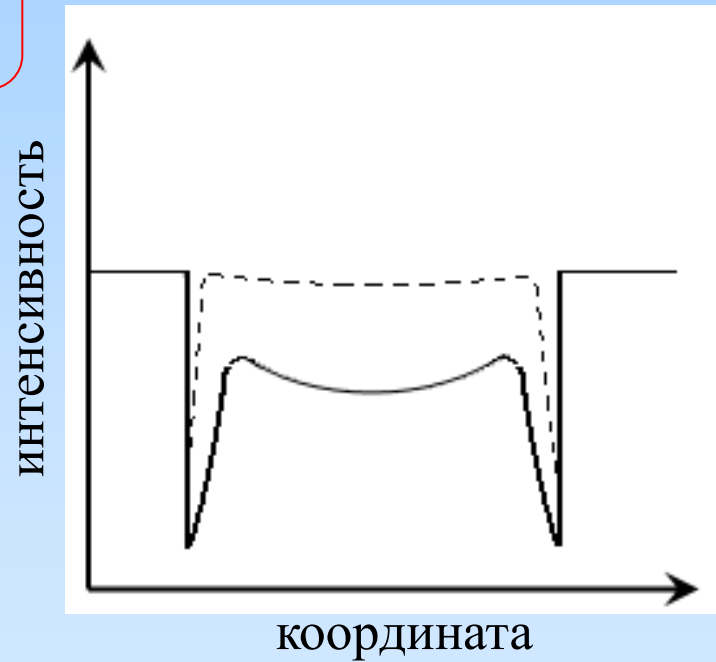
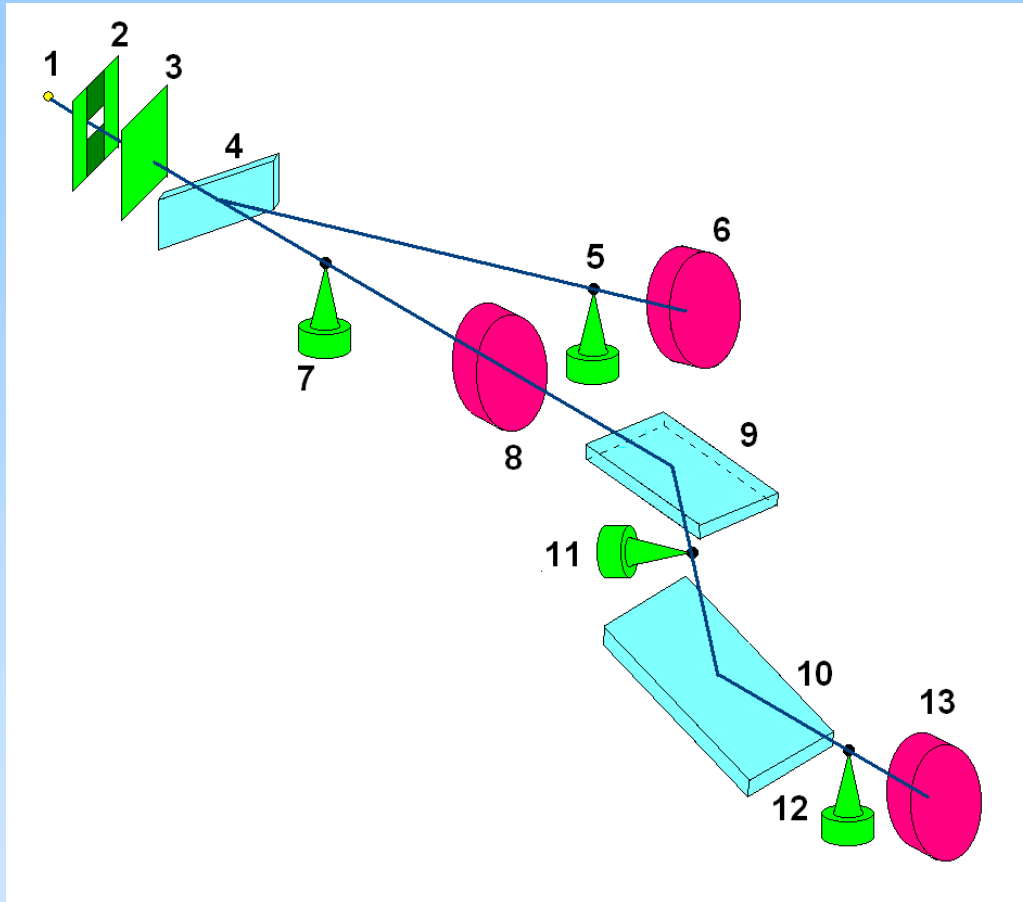
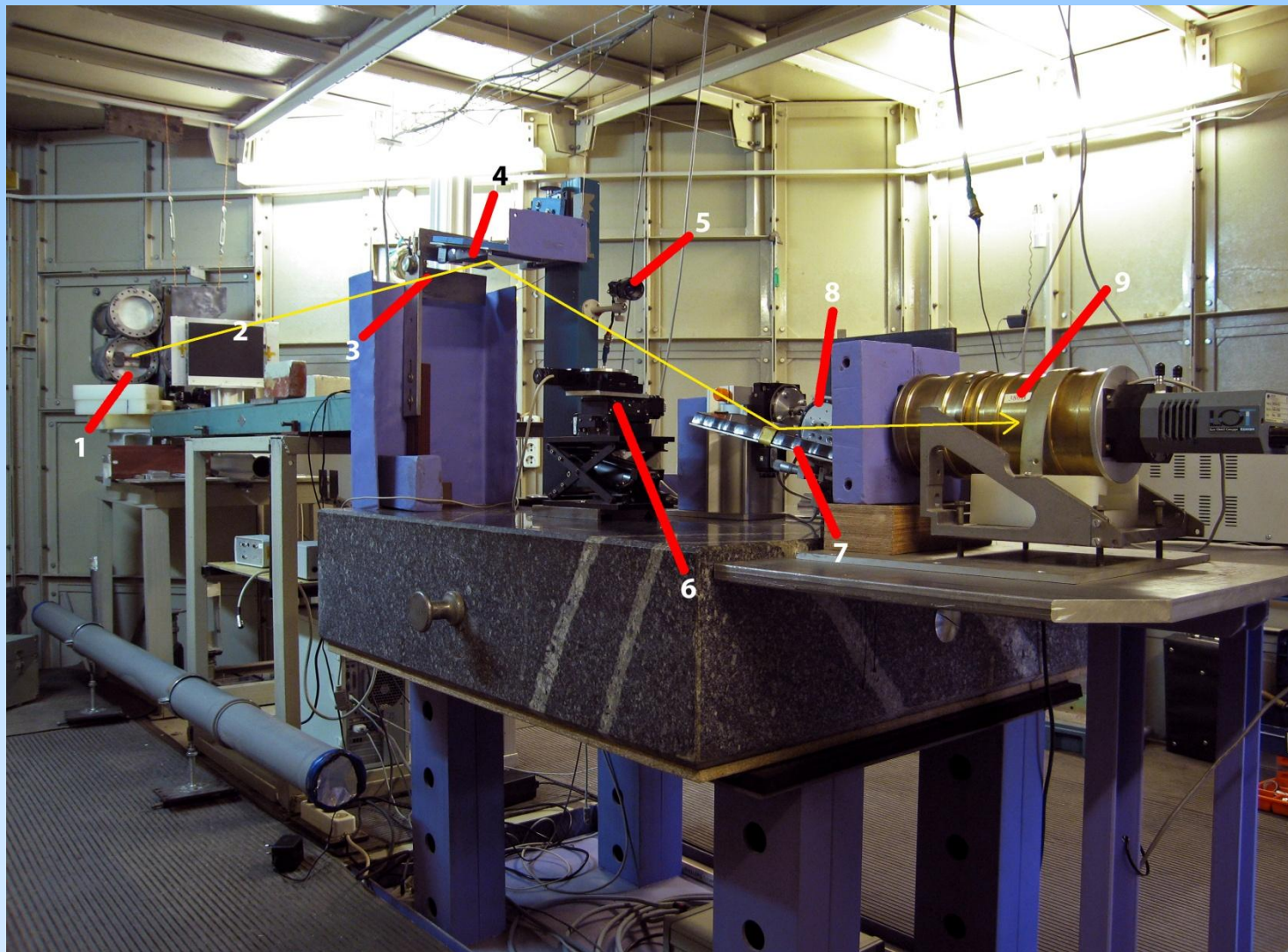


Схема установки для многомодовой томографии



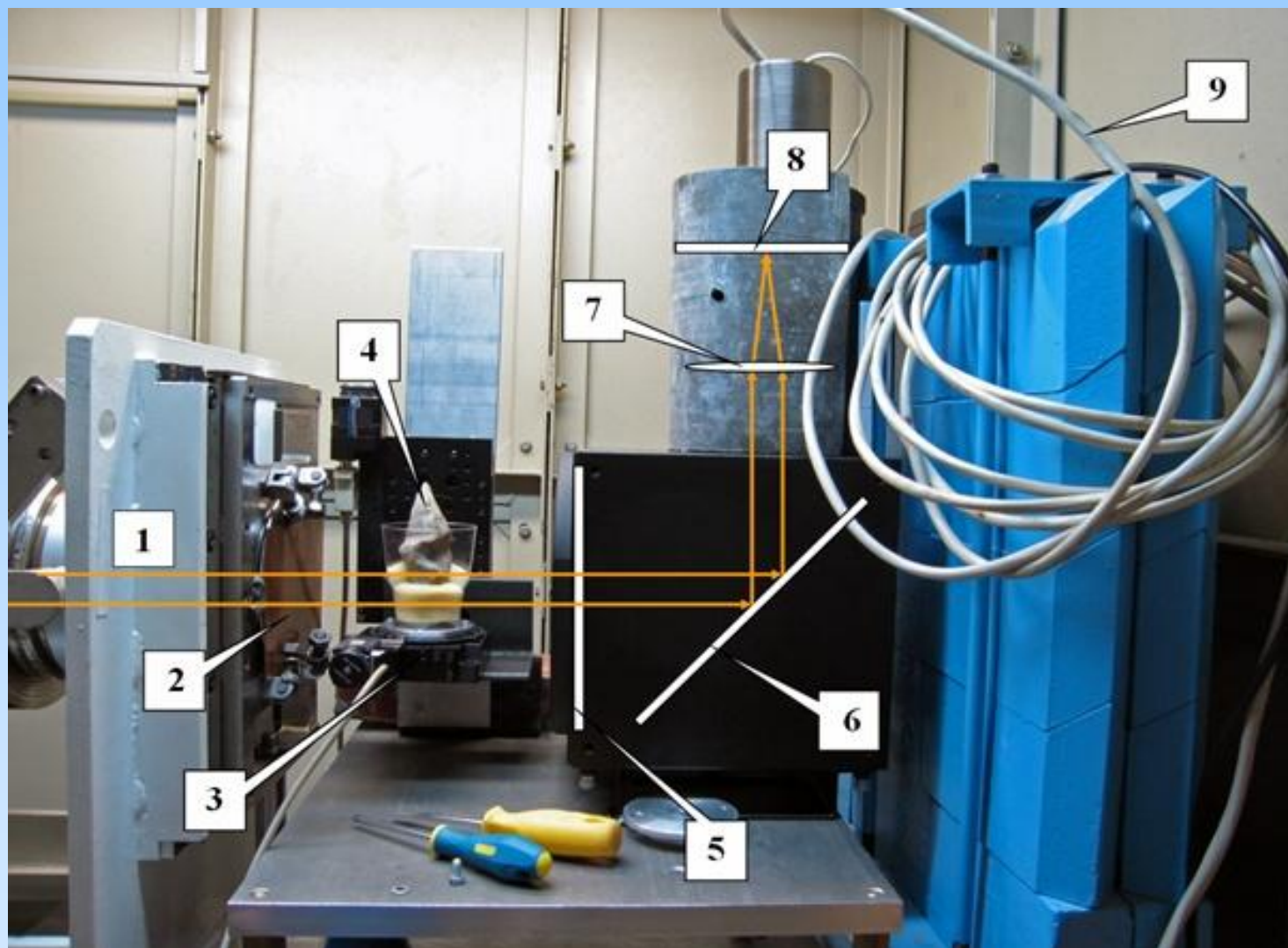
1- источник СИ, 2- щели, 3- фильтры; при работе с монохроматическим пучком:
4- кристалл, 5- образец, 6- детектор; при работе с белым и «розовым» пучком:
7- образец, 8- детектор; при работе с рефракционным контрастом: 9, 10-
кристаллы, 11, 12- возможные положения образца, 13- детектор.

Установка для рефракционной рентгеновской интроскопии на СИ (станция «Медиана»)



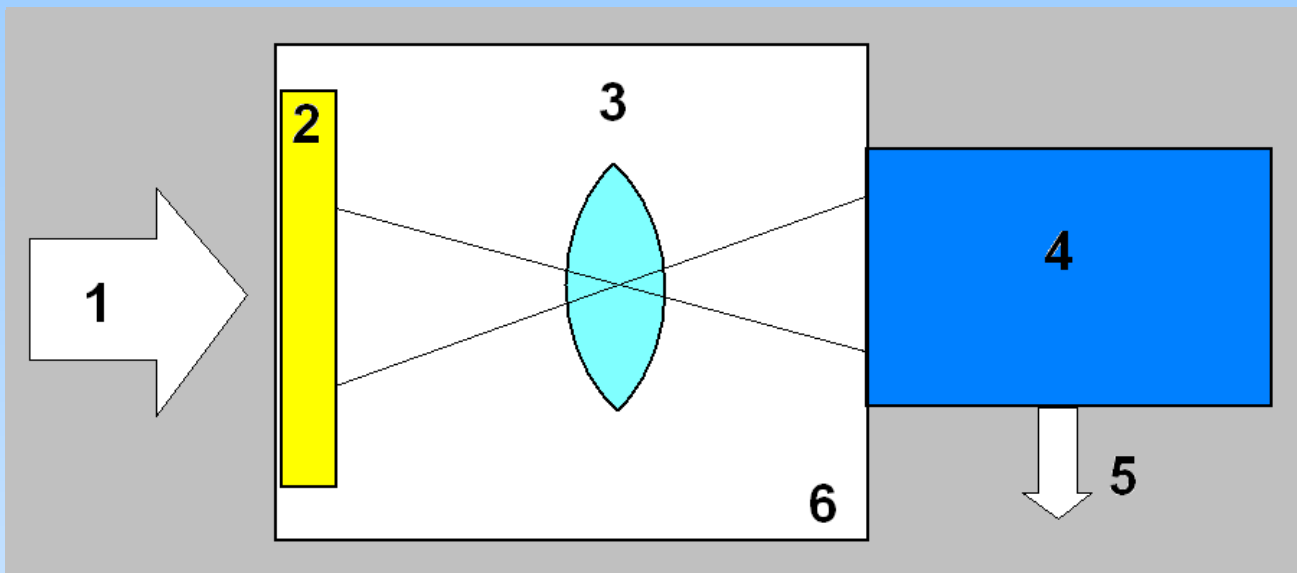
1 – фильтр, 2 – ход пучка СИ, 3 – щель, 4 – кристалл-монокроматор, 5 – камера внешнего наблюдения, 6 – дистанционно управляемый гониометр – держатель образца, 7 – кристалл-анализатор, 8 – пьезопривод, 9 – детектор (цифровая камера).

Установка для интроскопии на «белом» пучке СИ на станции «ЛИГА»



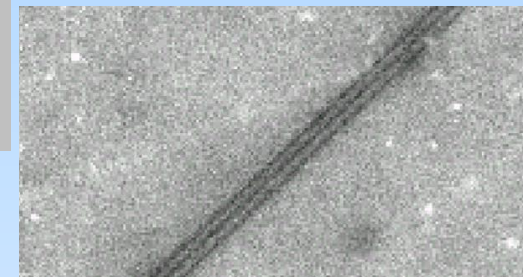
1 – ход пучка СИ (после люминофора видимый свет), 2 – фильтр, 3 - дистанционно управляемый гониометр – держатель образца, 4 – исследуемый объект (образец), 5 – пластина сцинтиллятора (люминофор), 6 – зеркало, 7 – объектив, 8 – матрица цифровой камеры, 9 – кабель, несущий информацию с детектора.

Детекторы



1- Пучок СИ, 2- сцинтиллятор (*BGO*, *CsJ*), 3- объектив, 4- CCD камера, 5- связь с PC, 6- светонепроницаемый корпус

Разрешение детекторов: 2-300 мкм,
дин. диапазон 2^{12} - 2^{16}

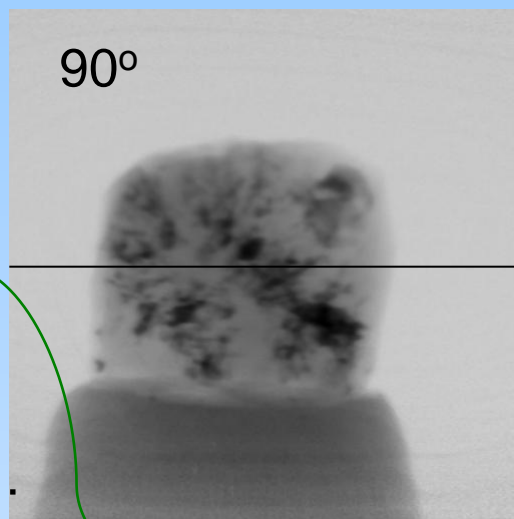
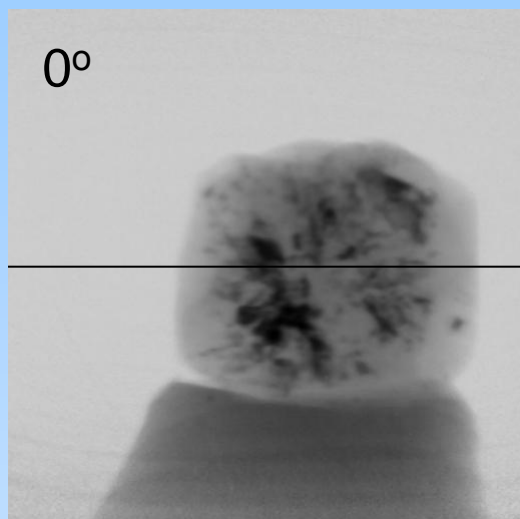


Тест-объект

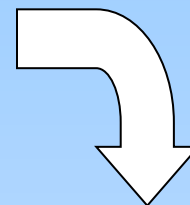
25 пар линий на
мм

Съемка и восстановление методом FBP

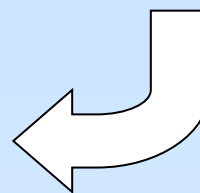
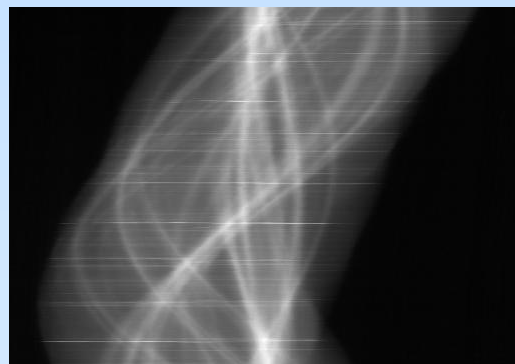
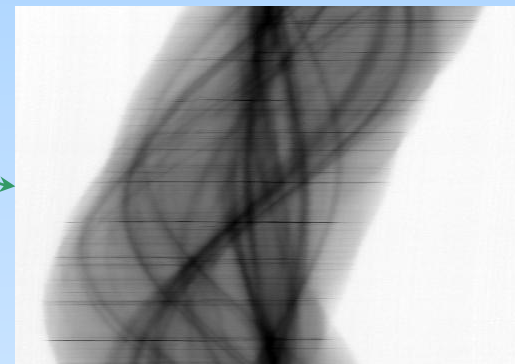
Природный алмаз



проекции

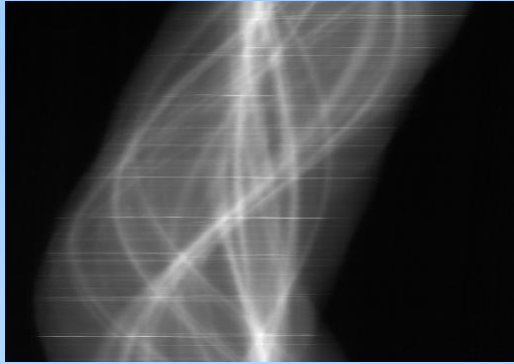


синограмма

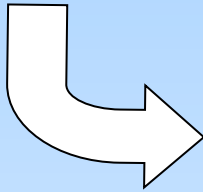
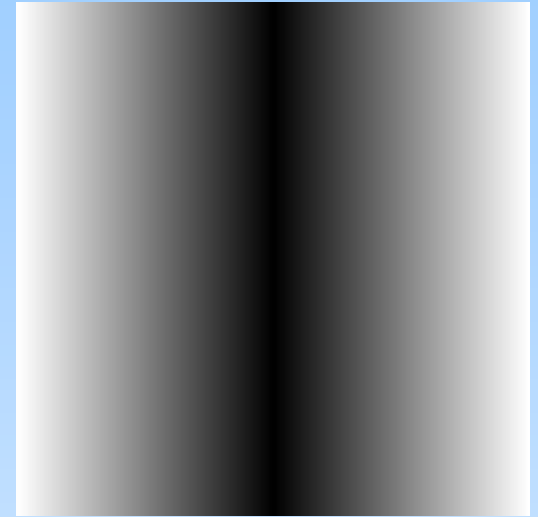
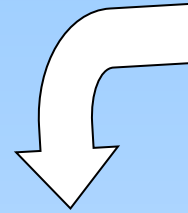


логарифм

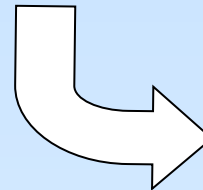
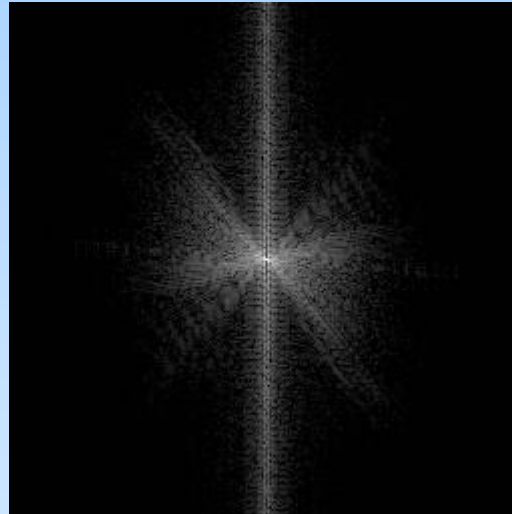
Съемка и восстановление методом FBP



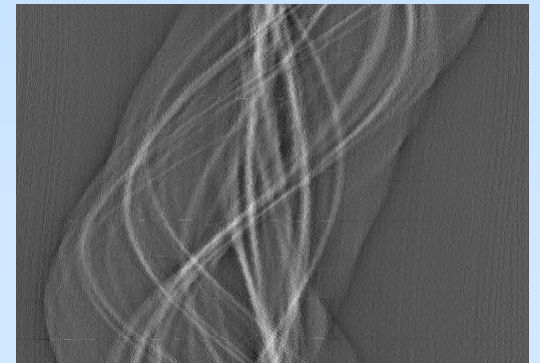
фильтрация



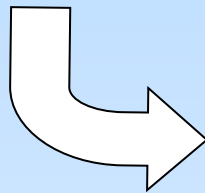
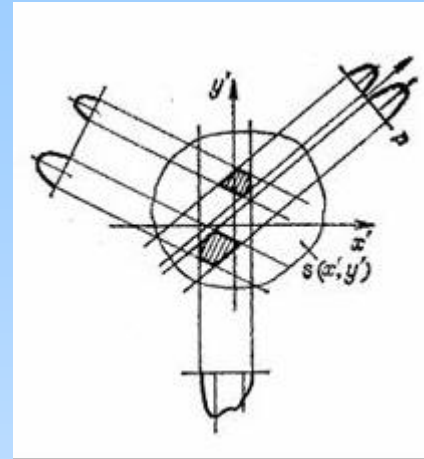
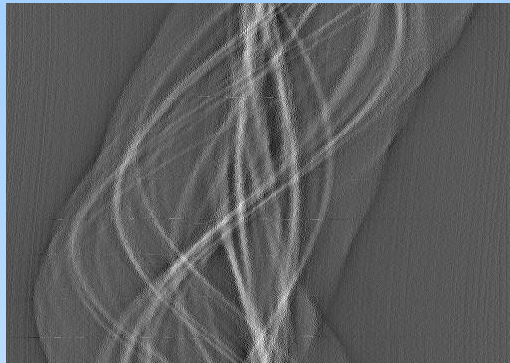
Фурье-образ



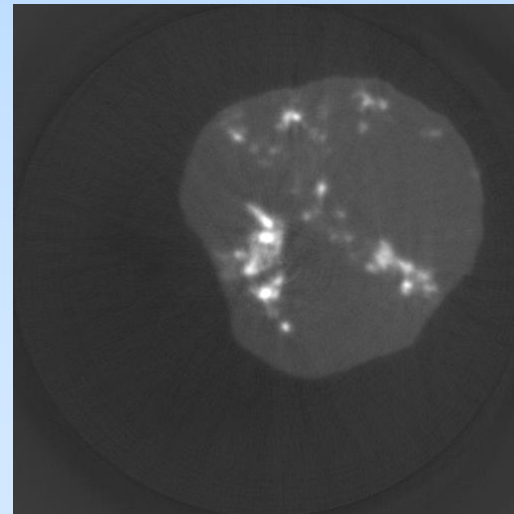
обратное преобразование
Фурье



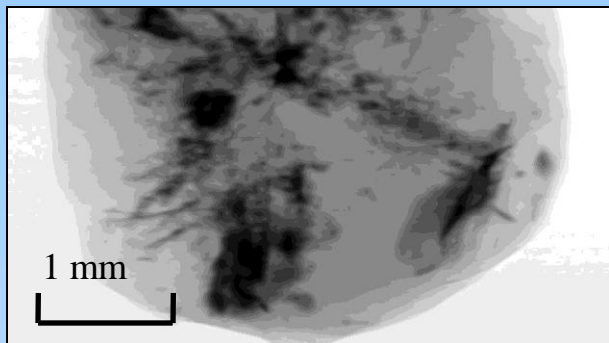
Съемка и восстановление методом FBP



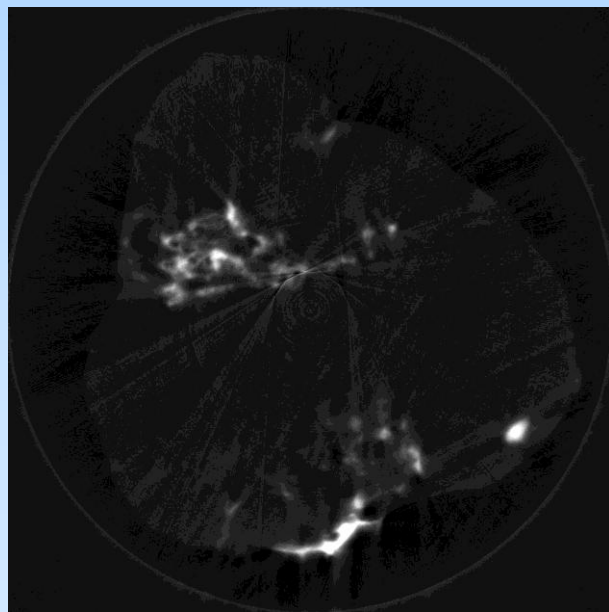
обратное проецирование



Томография на монохроматическом пучке – природный алмаз

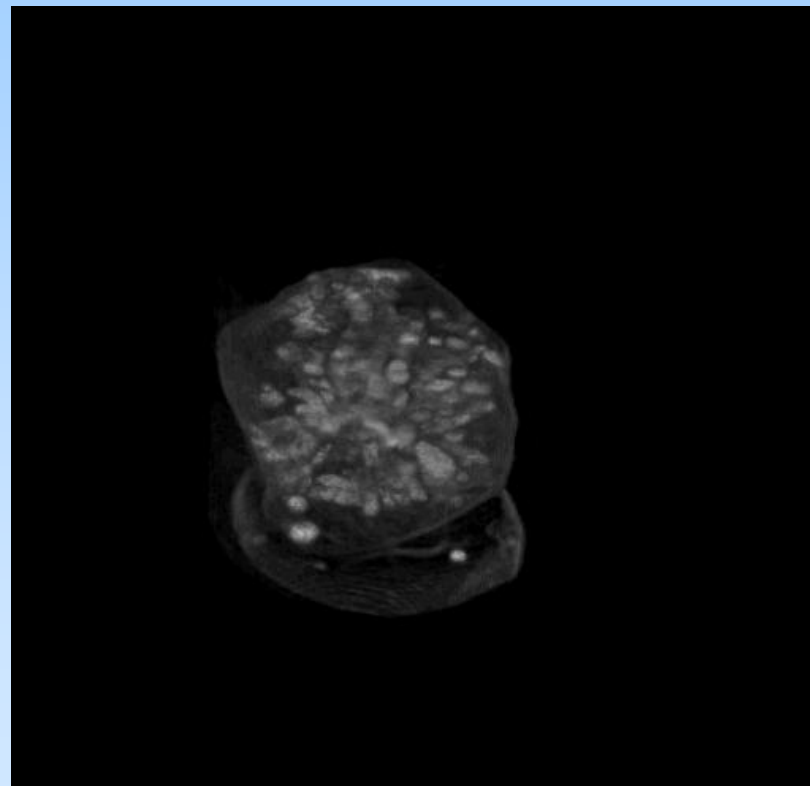


Проекция



Сечение

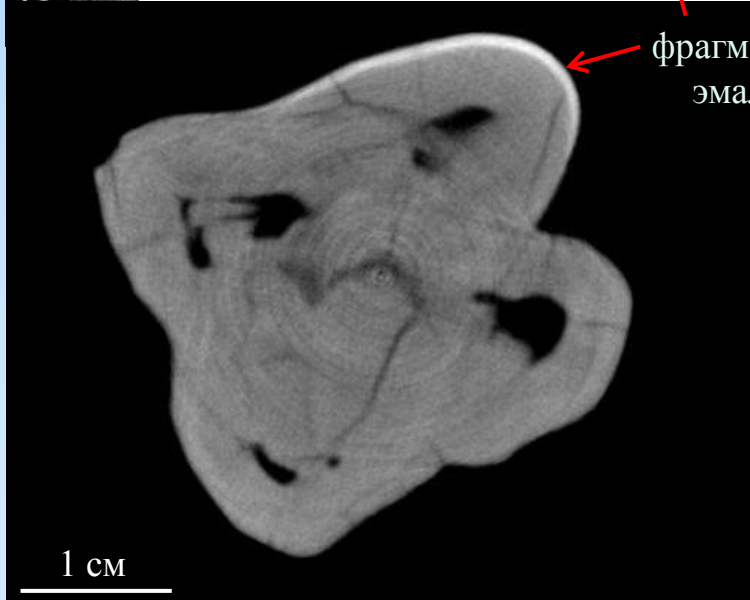
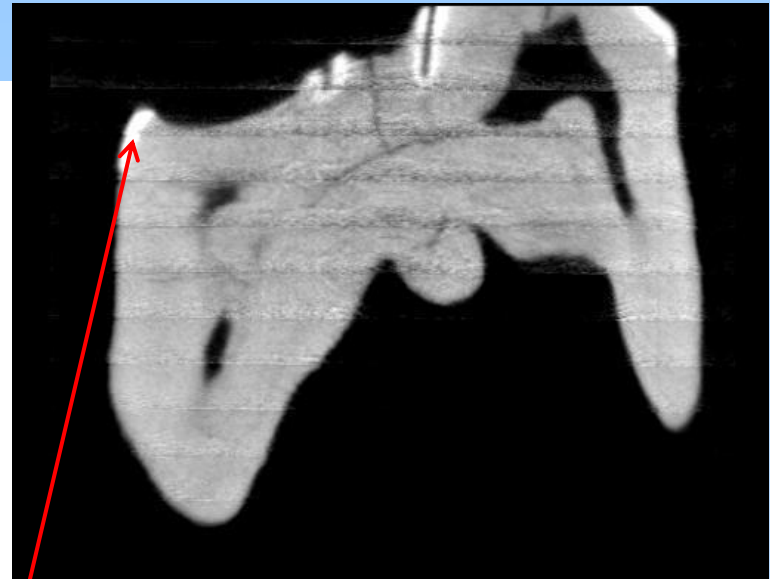
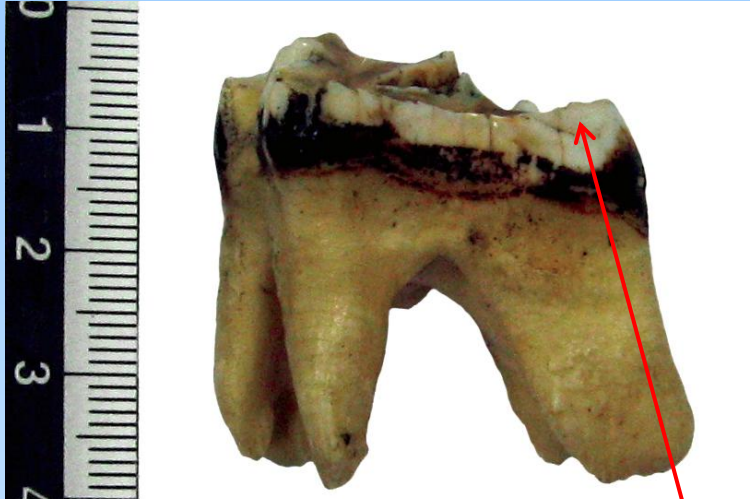
На основании полученных данных сделаны выводы об условиях роста кристалла



Кристалл алмаза с включениями

Томография биоминеральных объектов на «белом» пучке СИ

Зуб крупного травоядного



фрагменты
эмали

1 см

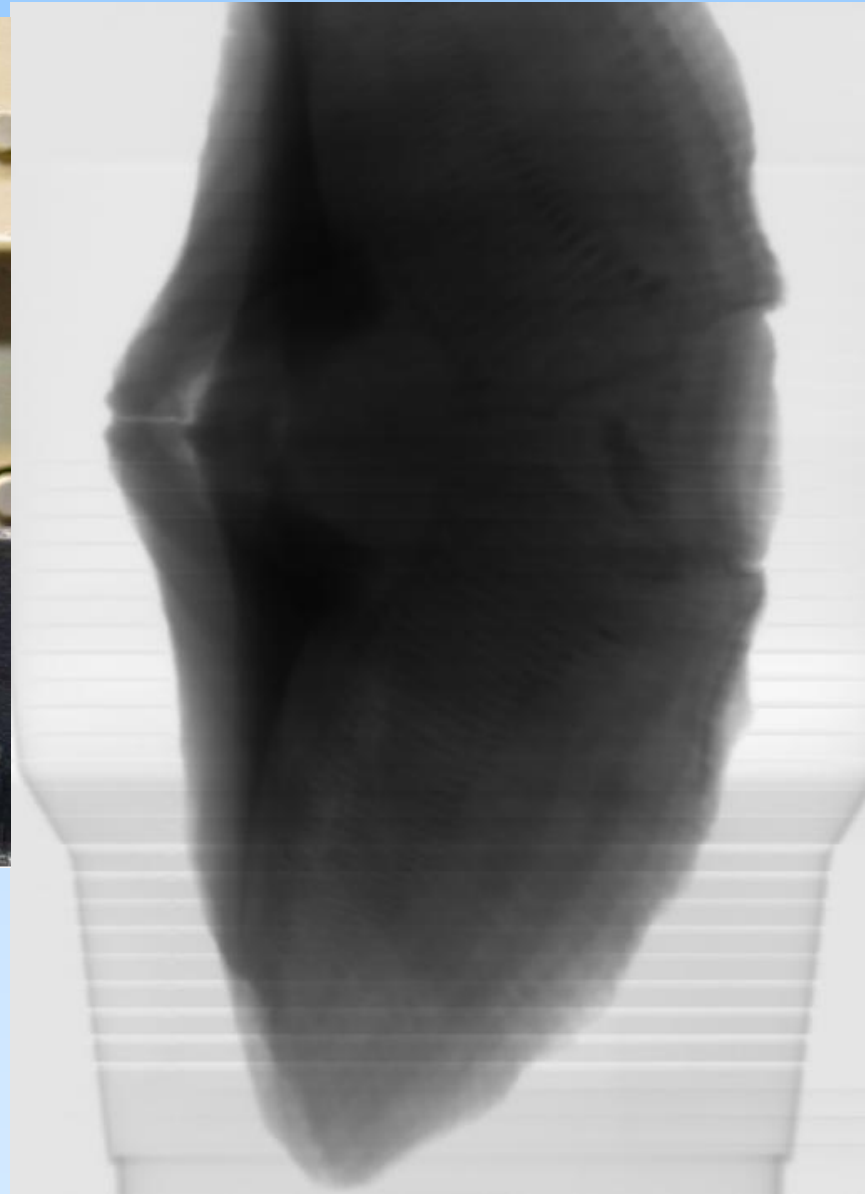
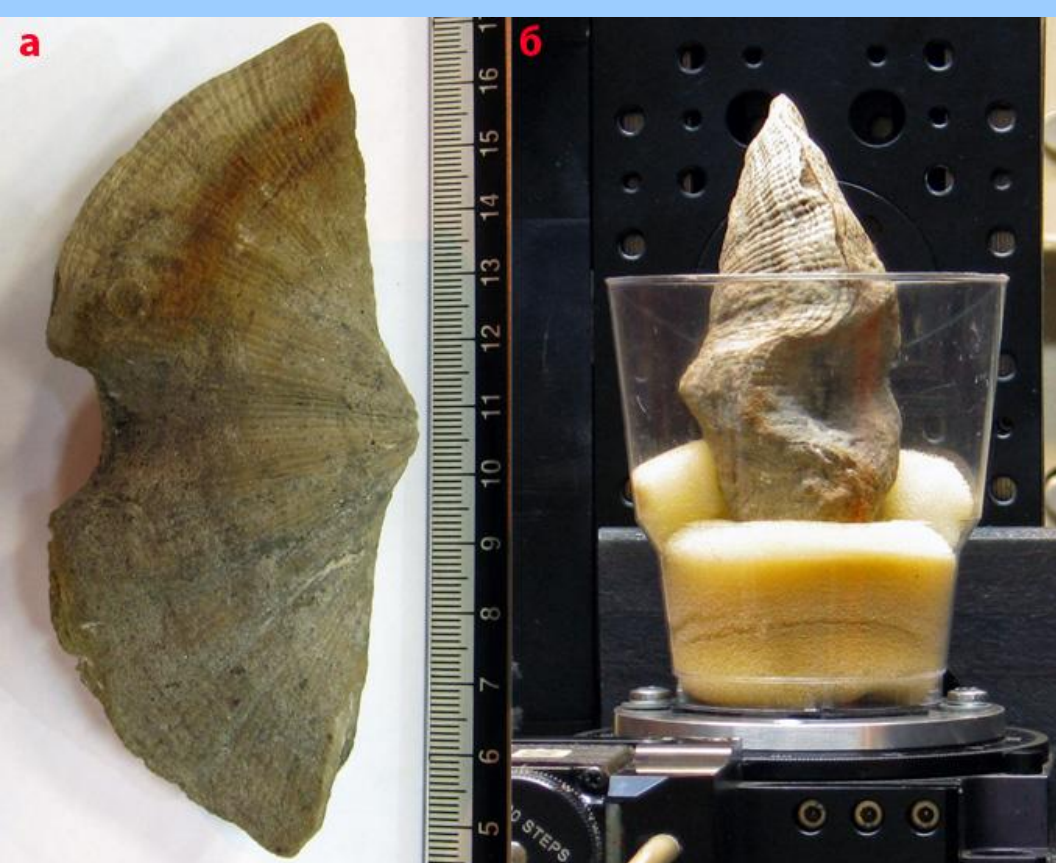
Восстановленные взаимно перпендикулярные сечения

Томография биоминеральных объектов на «белом» пучке СИ



Зуб крупного травоядного

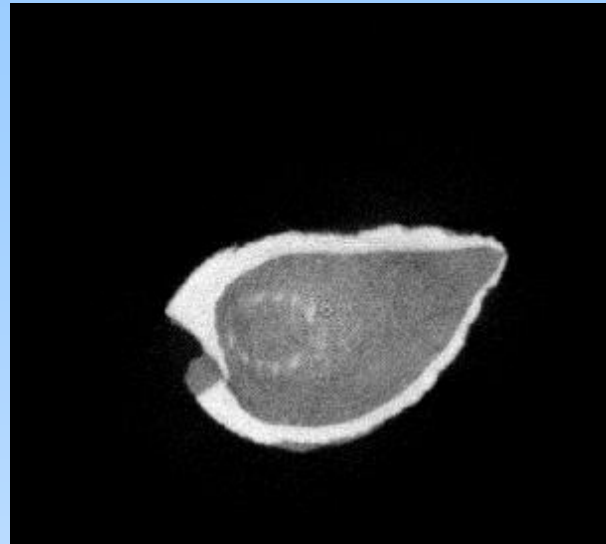
Томография крупной брахиоподы на «белом» пучке



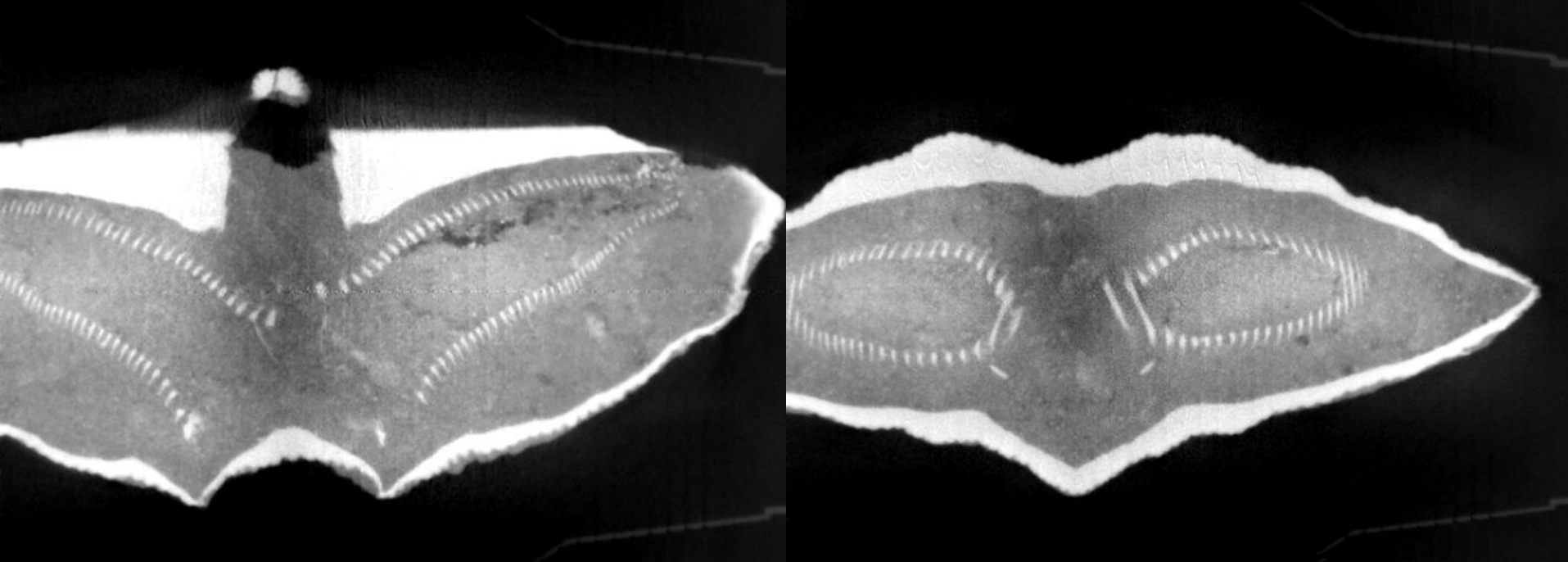
Брахиопода *Kaninospirifer kaninensis*
(Licharew, 1943, отложения верхней
перми, ? уржумского яруса, п-ова
Канин, экз. ПИН РАН 4900/79)

Томография крупной брахиоподы на «белом» пучке

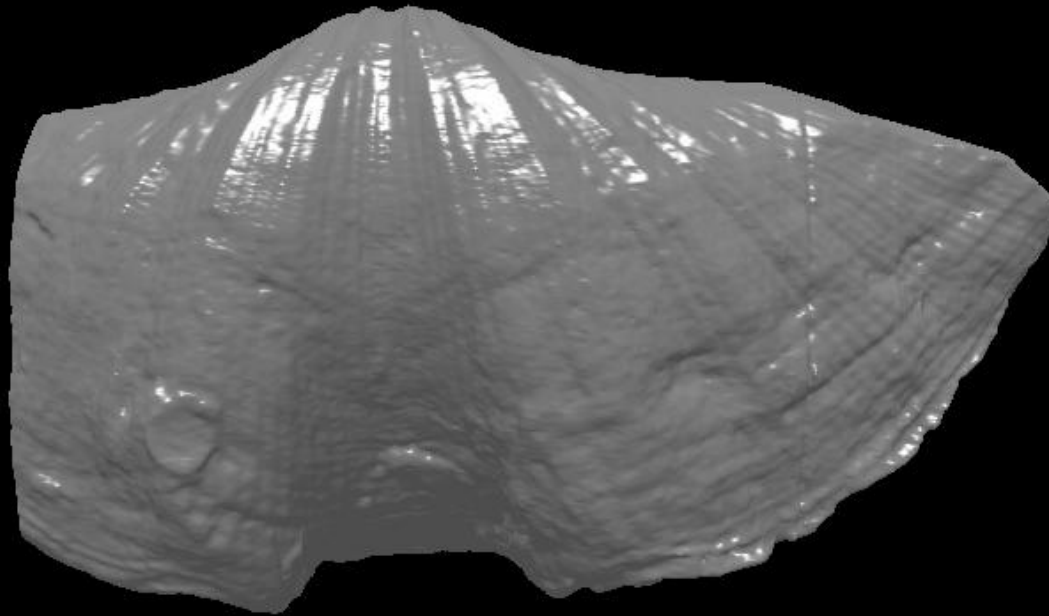
Представлены восстановленные сечения крупной брахиоподы в трех взаимно перпендикулярных плоскостях



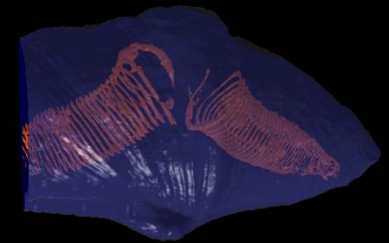
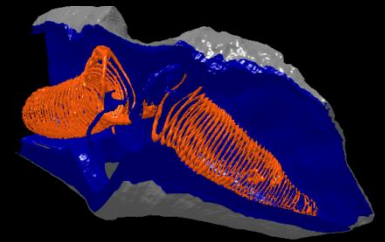
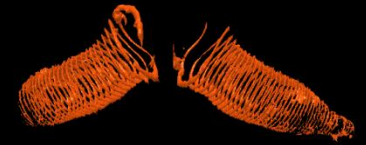
Отчетливо видны внутренние структуры, представляющие собой ручной аппарат животного



3D-представление



1 см



1 см

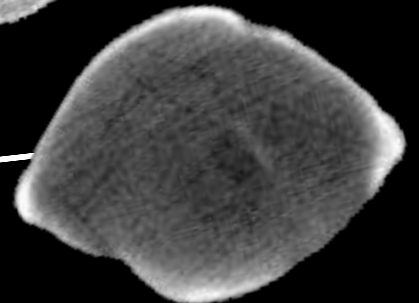
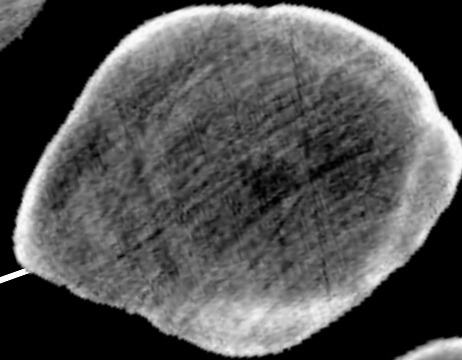
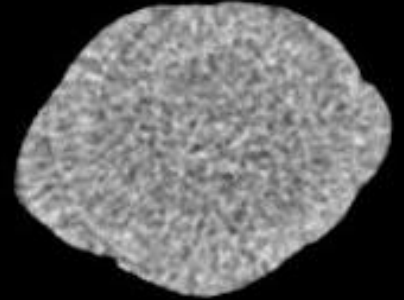
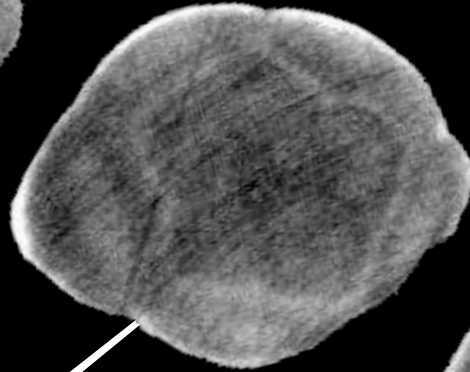
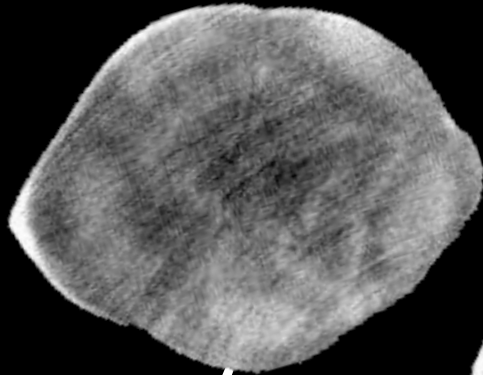
Трехмерная модель ископаемой брахиоподы. Цветом помечены различные структуры объекта: серым – тонкий внешний слой вмещающей породы, синим – створки раковины, оранжевым – ручной аппарат.

Рефракционная томография в палеонтологии

морская лилия *Ristnacrinus sp.* (из отложений верхнего ордовика Эстонии, экз. ПИН РАН)



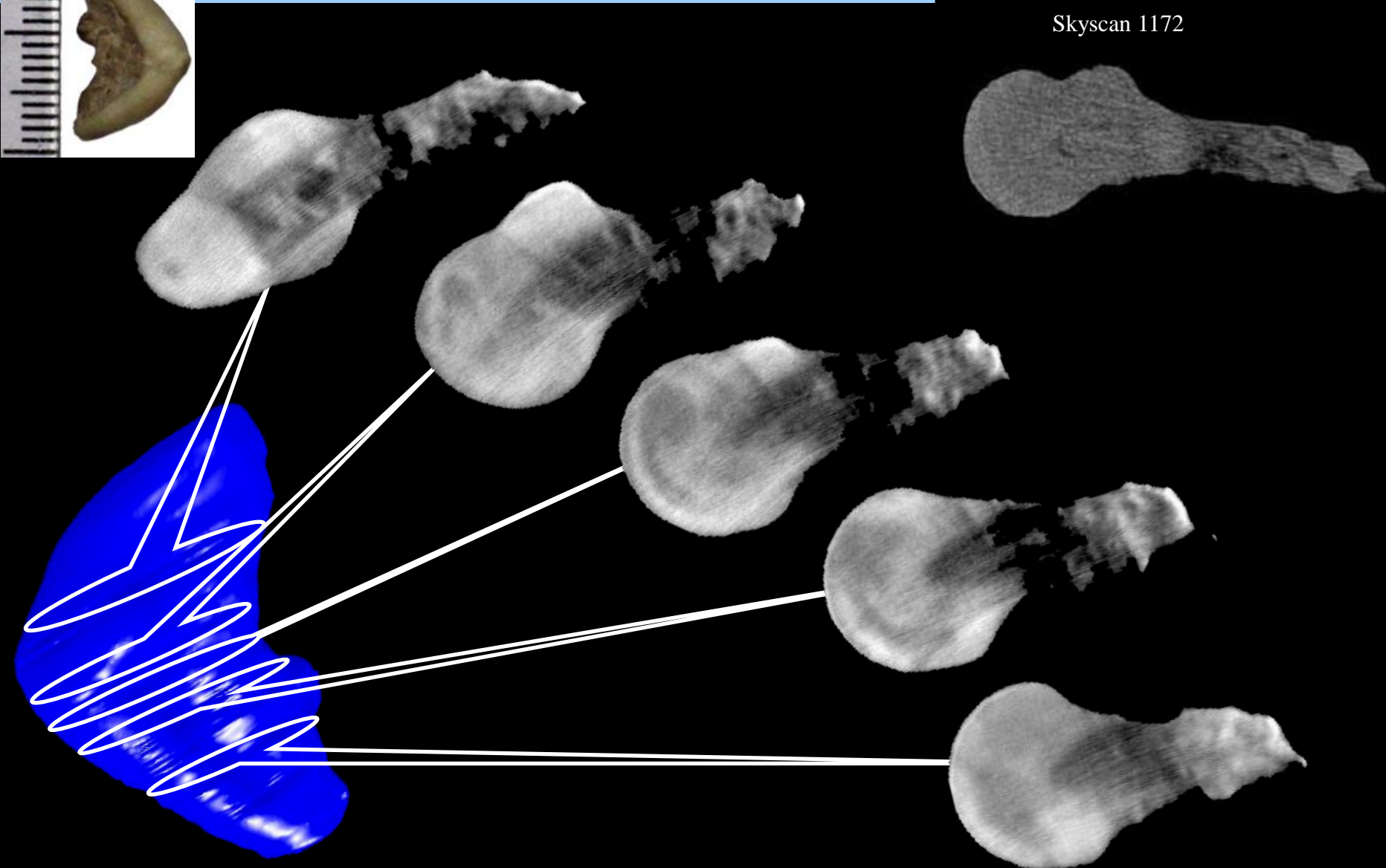
Skyscan 1172



Рефракционная томография в палеонтологии

Rhipidocystis sp. (экз. ПИН РАН)

Skyscan 1172

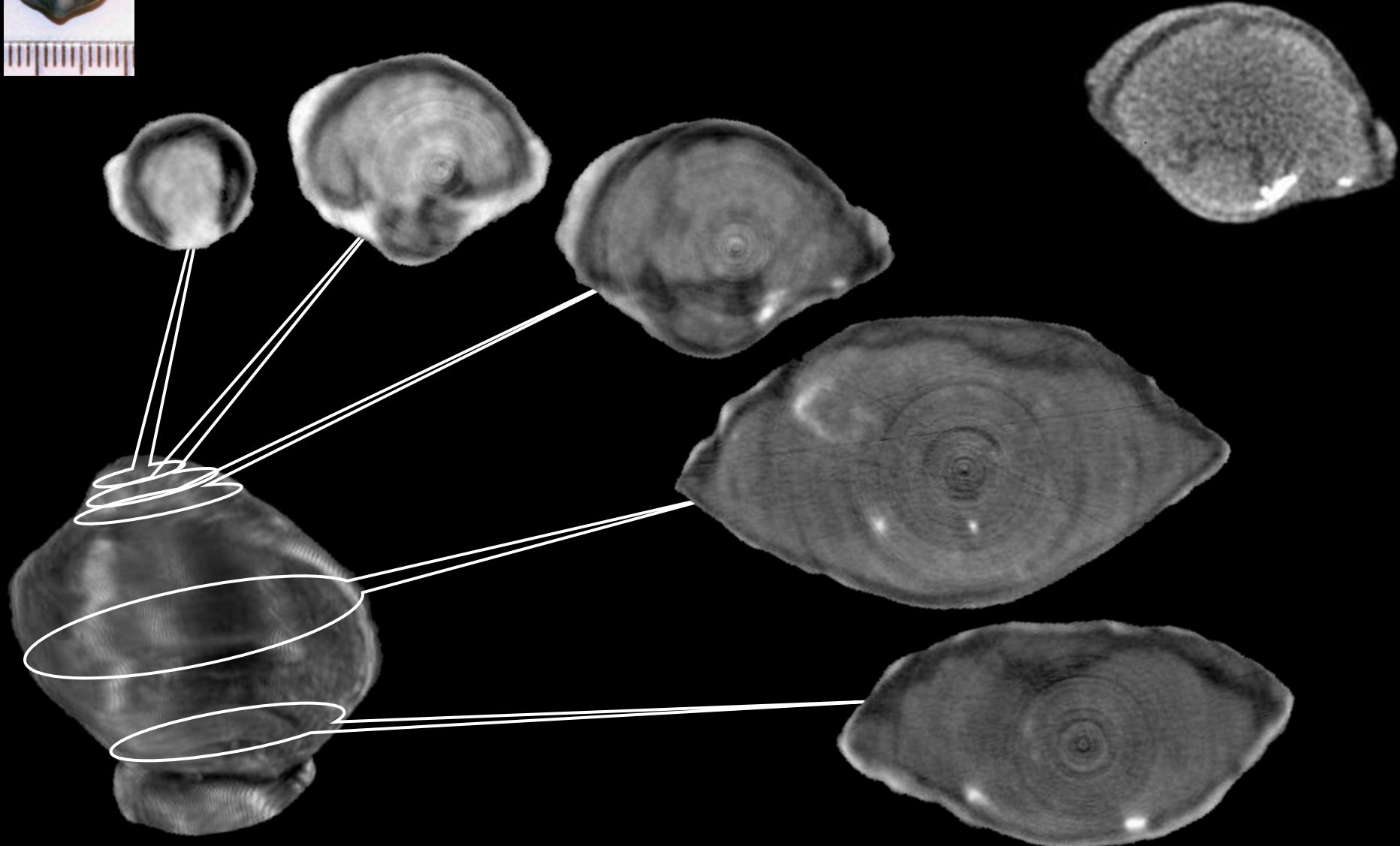


Рефракционная томография в палеонтологии

Shizophoria uchtensis (А.П. Иванова р. Ухта, экз. ПИН РАН № 218/60-63)



Skyscan 1172



Выводы

Использование уникальных источников излучения Курчатовского института для томографии минеральных объектов

дает возможность:

1. Улучшить пространственное разрешение и проникающую способность (?)
2. Различить границы раздела и другие неоднородности
3. Таким образом, повысить информативность томографического исследования

На станции «Медиана» реализована многомодовая рентгеновская томография позволяющая гибко варьировать условия эксперимента в зависимости от объектов.



Спасибо за внимание!