

# Нейтронная томография минеральных и палеонтологических объектов

Е. С. Коваленко<sup>1</sup>, А. А. Калоян<sup>1</sup>, А. В. Пахневич<sup>2</sup>, К. М. Подурец<sup>1</sup>, В. А. Соменков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва*

<sup>2</sup>) *Палеонтологический институт им. А. А. Борисяка РАН, г. Москва*

2012 г.

# Постановка задачи

Рентгеновская томография является одним из ведущих методов неразрушающего исследования в палеонтологии и геологии. Она имеет большое значение для изучения редких и хрупких образцов. Подобные объекты относятся к наиболее трудным для томографии поскольку в составе горных пород и ископаемых объектов вымершей флоры и фауны могут содержаться близкие по плотности и, соответственно, рентгеновской контрастности минералы, что делает применение стандартной рентгеновской томографии мало результативным.

В связи с этим возникает задача исследования возможностей повышения информативности томографии палео- и геообъектов путем привлечения других видов излучения (нейтроны).

# Почему нейтроны?

1. Ядерное взаимодействие
2. Нерегулярная зависимость величины взаимодействия от атомного номера
3. Высокая проникающая способность
4. Взаимодействие с водородом

рентген																He			
H																He			
0.02																0.02			
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
0.06	0.22													0.28	0.27	0.11	0.16	0.14	0.17
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.13	0.24													0.38	0.33	0.25	0.30	0.23	0.20
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
0.14	0.26	0.48	0.73	1.04	1.29	1.32	1.57	1.78	1.96	1.97	1.64	1.42	1.33	1.50	1.23	0.90	0.73		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
0.47	0.86	1.61	2.47	3.43	4.29	5.06	5.71	6.08	6.13	5.67	4.84	4.31	3.98	4.28	4.06	3.45	2.53		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
1.42	2.73	5.04	19.70	25.47	30.49	34.47	37.92	39.01	38.61	35.94	25.88	23.23	22.81	20.28	20.22		9.77		
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha															
	11.80	24.47																	
Lanthanides																			
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
	5.79	6.23	6.46	7.33	7.68	5.66	8.69	9.46	10.17	10.91	11.70	12.49	9.32	14.07					
Actinides																			
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Vf	Es	Fm	Md	No	Lr	x-ray				
	28.95	39.65	49.08																

нейтроны																He			
H																He			
3.44																0.02			
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
3.30	0.79													101.60	0.56	0.43	0.17	0.20	0.10
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.09	0.15													0.10	0.11	0.12	0.06	1.33	0.03
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
0.06	0.08	2.00	0.60	0.72	0.54	1.21	1.19	3.92	2.05	1.07	0.35	0.49	0.47	0.67	0.73	0.24	0.61		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
0.08	0.14	0.27	0.29	0.40	0.52	1.76	0.58	10.88	0.78	4.04	115.11	7.58	0.21	0.30	0.25	0.23	0.43		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
0.29	0.07	0.52	4.99	1.49	1.47	6.85	2.24	30.46	1.46	6.23	16.21	0.47	0.38	0.27					
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha															
	0.34																		
Lanthanides																			
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
	0.14	0.41	1.87	5.72	171.47	94.58	1479.04	0.93	32.42	2.25	5.48	3.53	1.40	2.75					
Actinides																			
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	neut				
	0.59	8.46	0.82	9.80	50.20	2.86													

Зависимости коэффициента поглощения нейтронов и рентгеновских лучей от атомного номера

*Экспериментальный зал*



# Исследовательский реактор ИР-8

Исследовательский реактор ИР-8 работает в Курчатовском институте уже более 50 лет. На реакторе выполнены многие пионерские работы по взаимодействию нейтронного излучения с веществом, в том числе именно здесь был сформулирован принцип рефракционной интроскопии. На реакторе ИР-8 создан комплекс методов и аппаратуры для работ по нейтронной интроскопии и томографии для решения задач, возникающих в различных областях человеческой деятельности.

**Максимальная плотность потока нейтронов в активной зоне, нейтронов/(см<sup>2</sup>•с):**

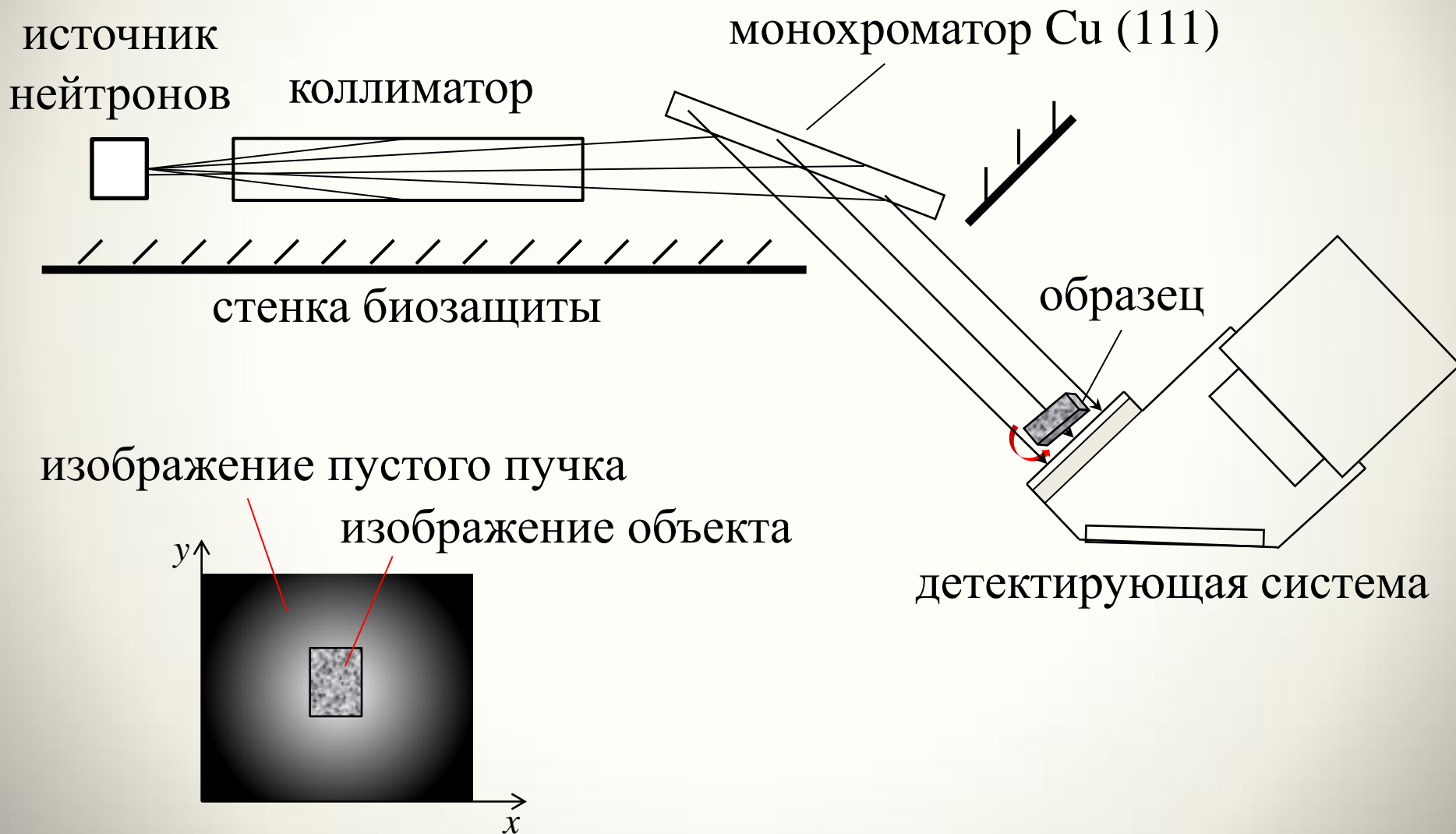
- тепловых  $1,5 \cdot 10^{14}$
- быстрых  $5,7 \cdot 10^{13}$



*Активная зона реактора*

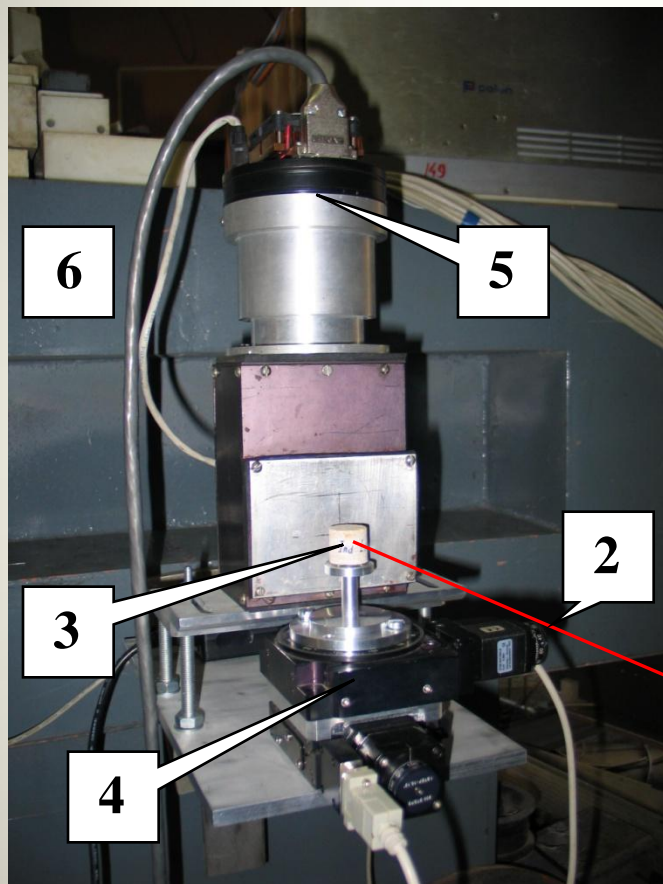
# Томография на тепловых нейтронах

## Схема эксперимента

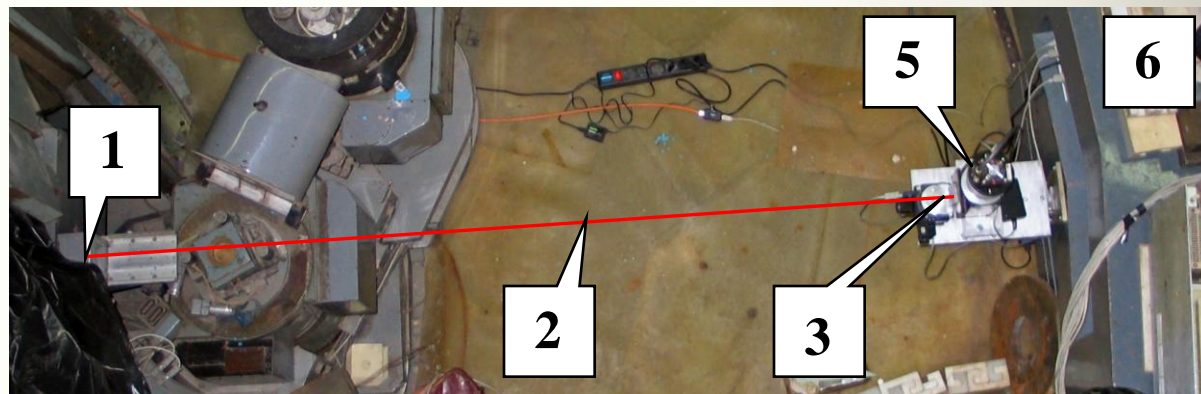


# Установка для интроскопии и томографии на тепловых нейтронах

$$\lambda = 1,52 \text{ \AA}$$



ССD-камера



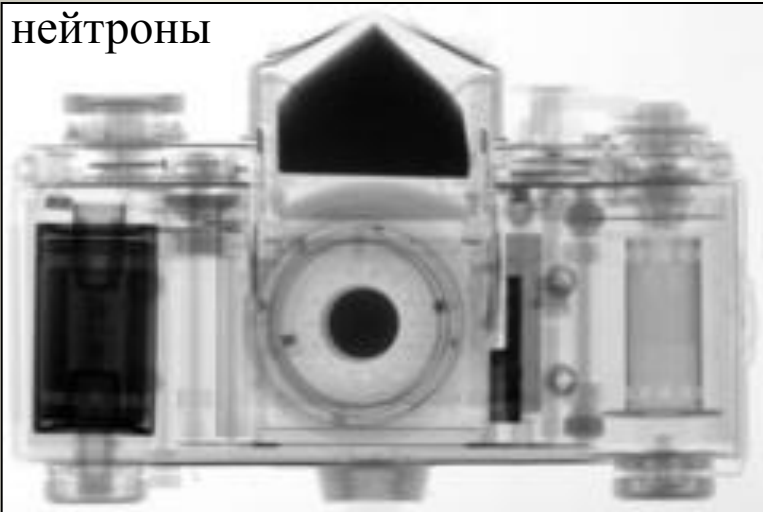
Установка (вид сверху):

1 – выходное окно канала; 2 – ось пучка нейтронов; 3 – положение образца; 4 – система позиционирования образца; 5 – детектор, состоящий из сцинтиллятора ZnS(Ag) с  ${}^6\text{LiF}$ , зеркала и камеры с Пельтье-охлаждаемой матрицей размером  $4004 \times 2671$  элементов; 6 – ловушка прямого пучка нейтронов.

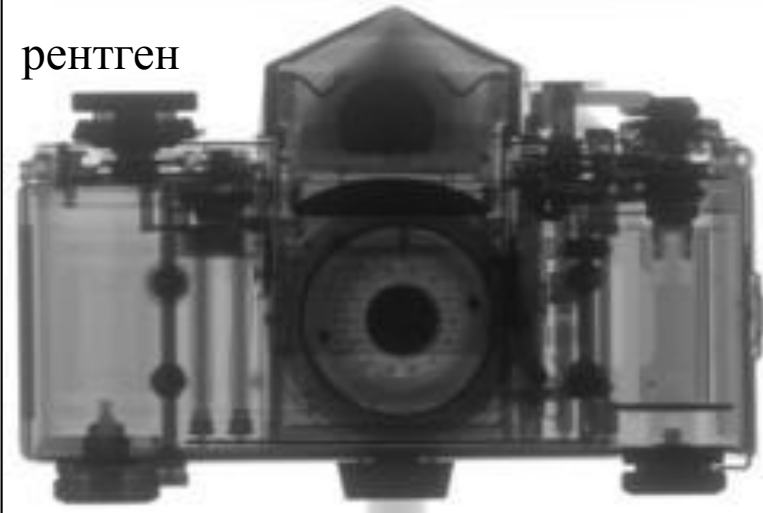
Максимальный размер пучка  $4 \times 5$  см, разрешение 400 мкм, время томографической съемки около 12 часов.

# Примеры нейтронной интроскопии

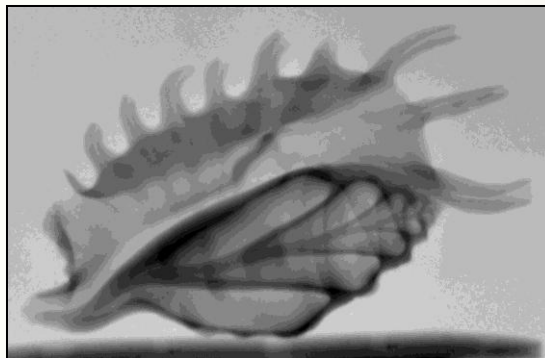
нейтроны



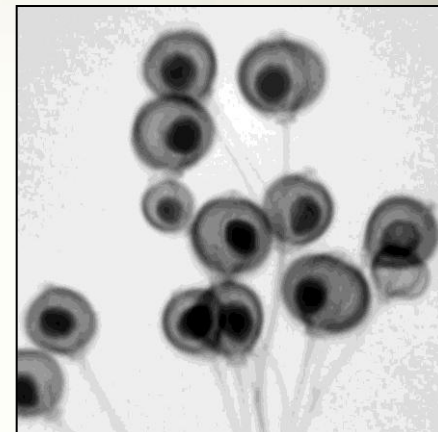
рентген



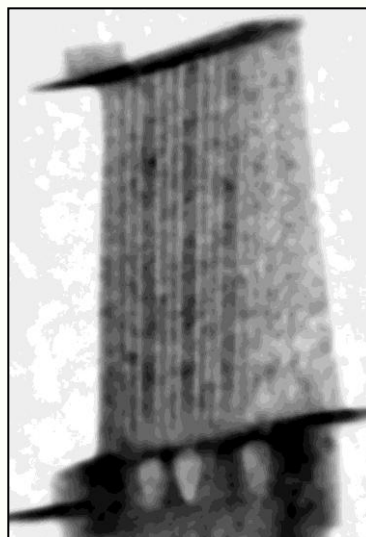
фотокамера



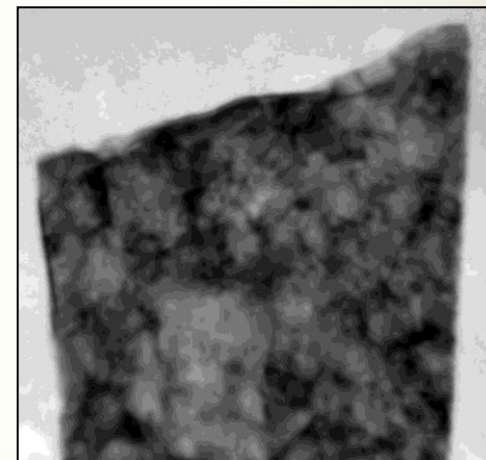
раковина моллюска



семена липы



Турбинная лопатка



Железо-каменный  
метеорит Брагин, 1982 г.

# ШКАЛА КонтРАСТНОСТИ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ

А. В. Пахневич

Палеонтологический институт РАН, Москва  
alvpb@mail.ru

Шкала контрастности минералов и осадочных пород (из: [4] с дополнениями)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Янтарь	Магнезит	Цеолит- стильбит Фенакит	Кварц Опал Глина Аквамарин Сподумен	Лабрадор Корунд Гипс Ортоклаз Хризоберилл Мусковит Амазонит	Кальцит Арагонит Фосфорит Сера Галит Доломит Оливин	Авгит	Апатит Флюорит	Биотит Арфведсонит Вивианит	Гематит Сидерит Родохрозит Барит Галенит Сфалерит Марказит Пирит Целестин Стронцианит Смитсонит Касситерит Церрусит Малахит Гетит Лимонит Пиролозит Тодорокит Рутил

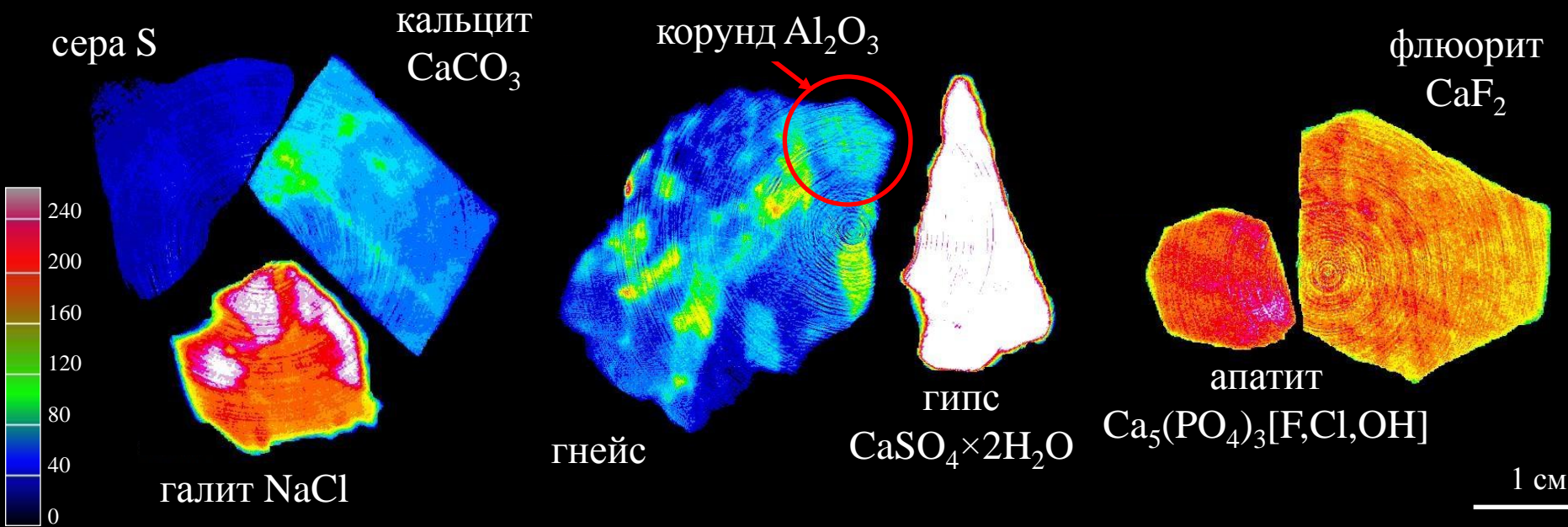
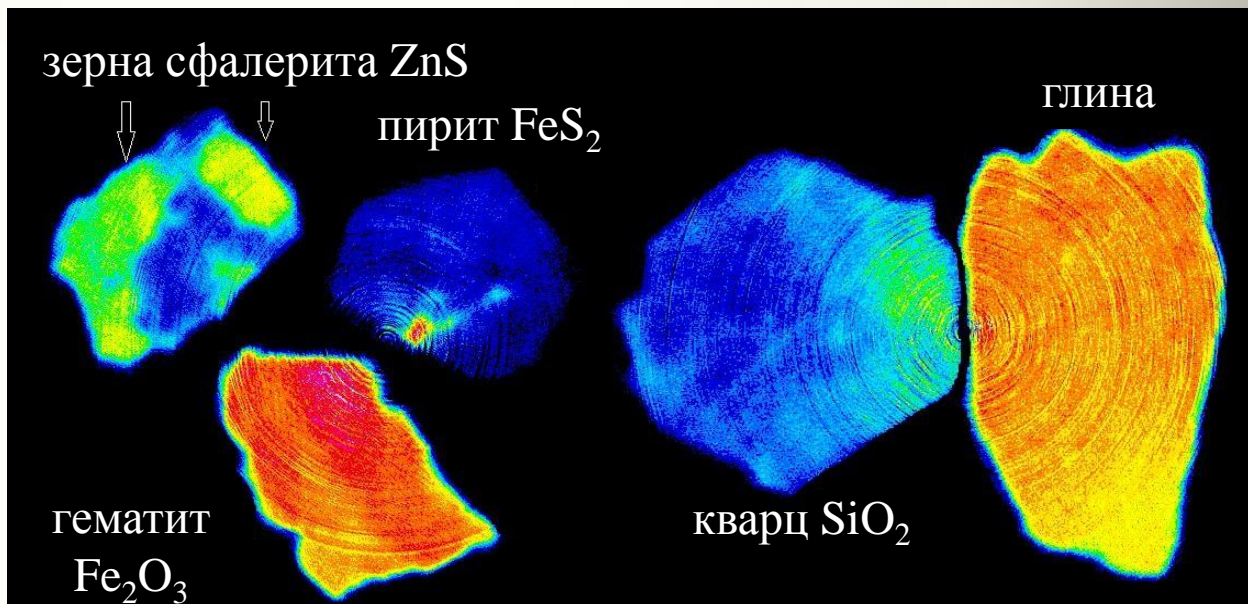
минералы и породы, теоретически контрастные для нейтронов



# Нейтронная томография минералов и пород

Некоторые минералы и осадочные породы неконтрастны для рентгена. В этом случае можно использовать нейтроны для формирования контраста.

Показаны группы минералов неразличимые для рентгена.

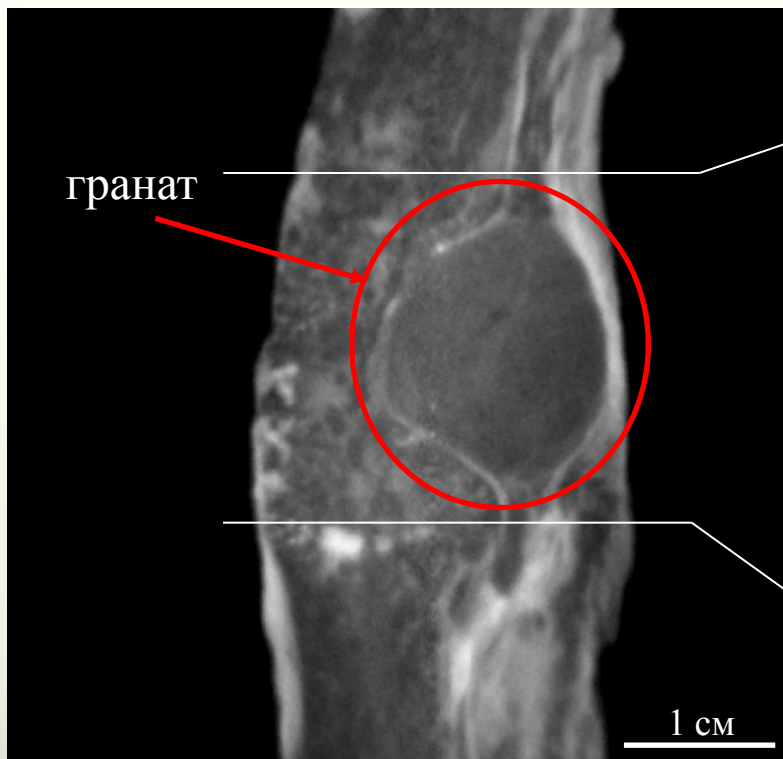


# Томография геологических объектов



п. Кителя, Сев. Карелия

Продольная проекция, толщина контрастной границы вокруг граната  $\approx 250$  мкм



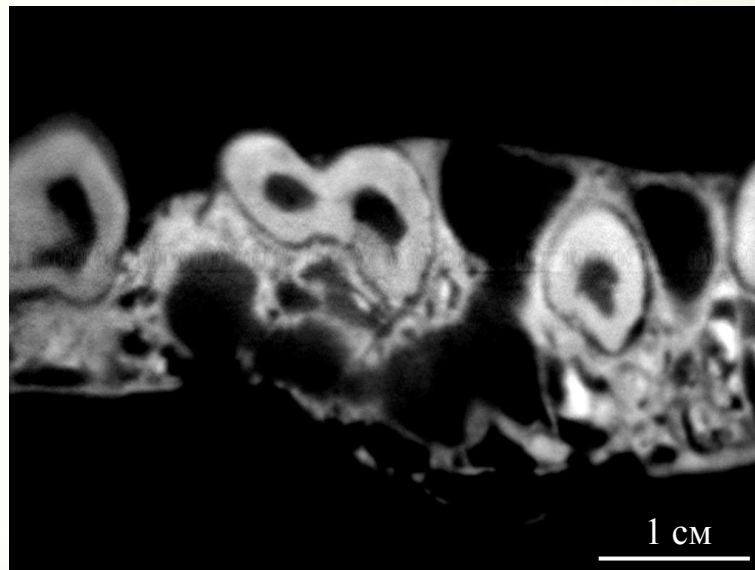
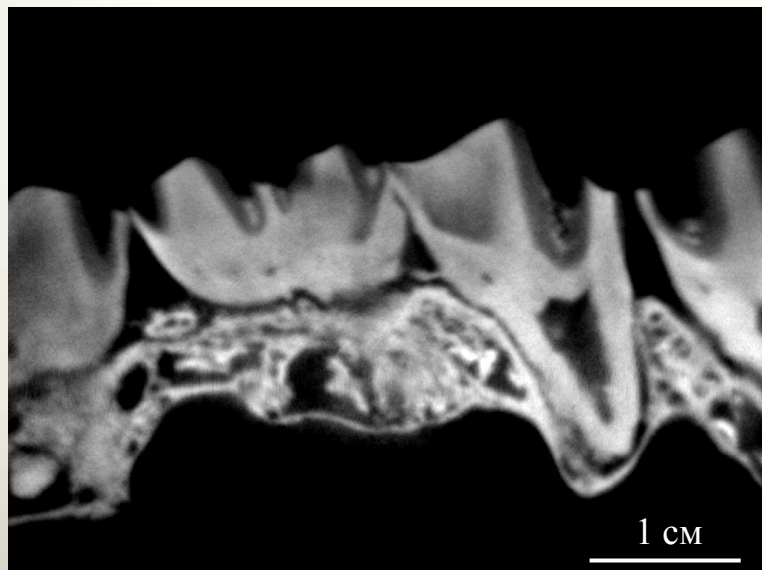
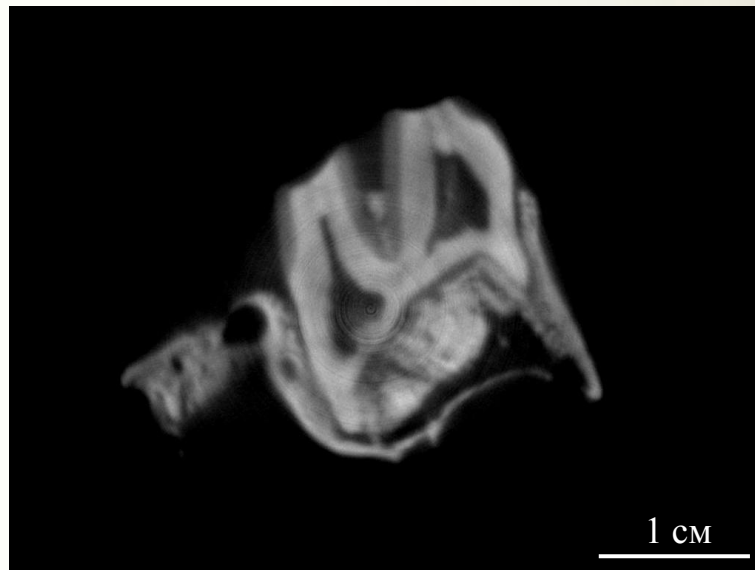
Восстановленные поперечные срезы



# Томография биоминеральных объектов



Фрагмент челюсти (фото)



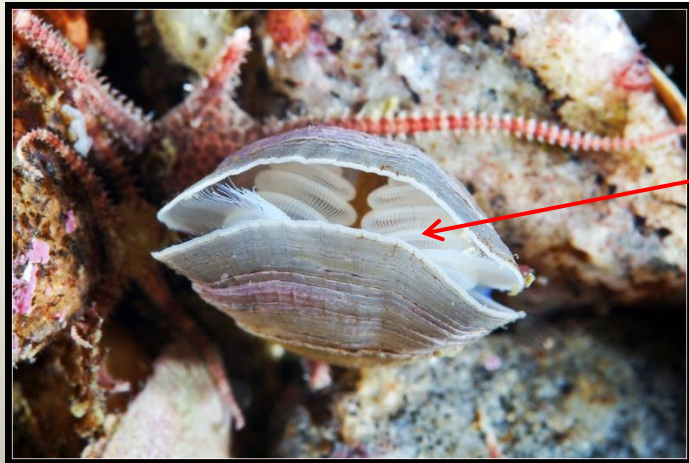
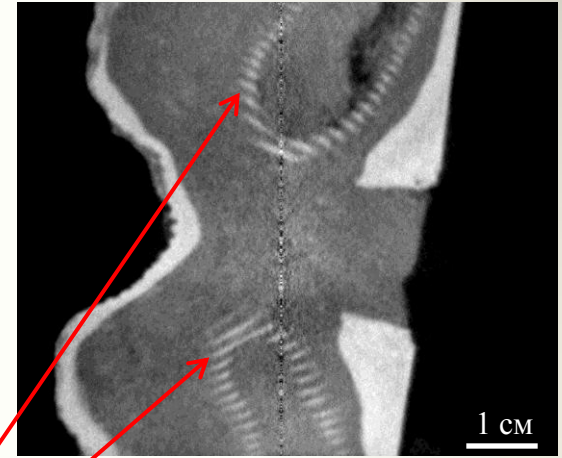
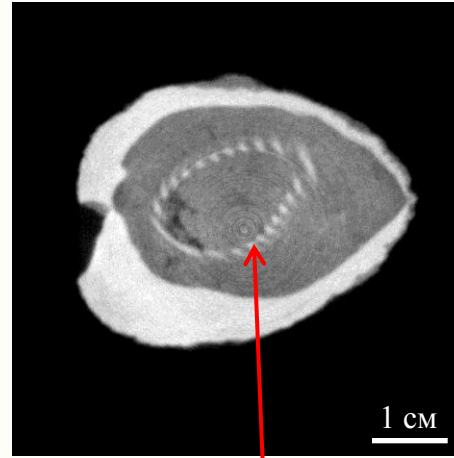
Восстановленные взаимно перпендикулярные сечения

# Томография палеонтологических объектов

Образец крупной брахиоподы *Kaninospirifer kaninensis* (Licharev, 1943, отложения верхней перми, уржумского яруса, п-ова Канин, экз. ПИН РАН 4900/78)

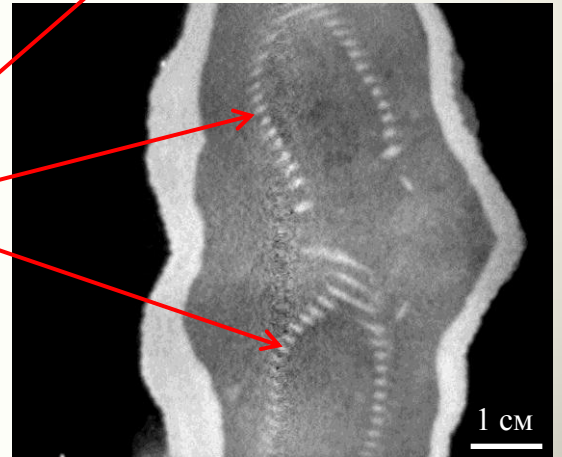


Внешний вид ископаемого



Современная брахиопода  
(Белое море)

ручной аппарат



Восстановленные взаимно перпендикулярные сечения. Внутри каждого сечения отчетливо виден ручной аппарат.

# Сравнительная томография араукарии на нейтронах и синхротронном излучении

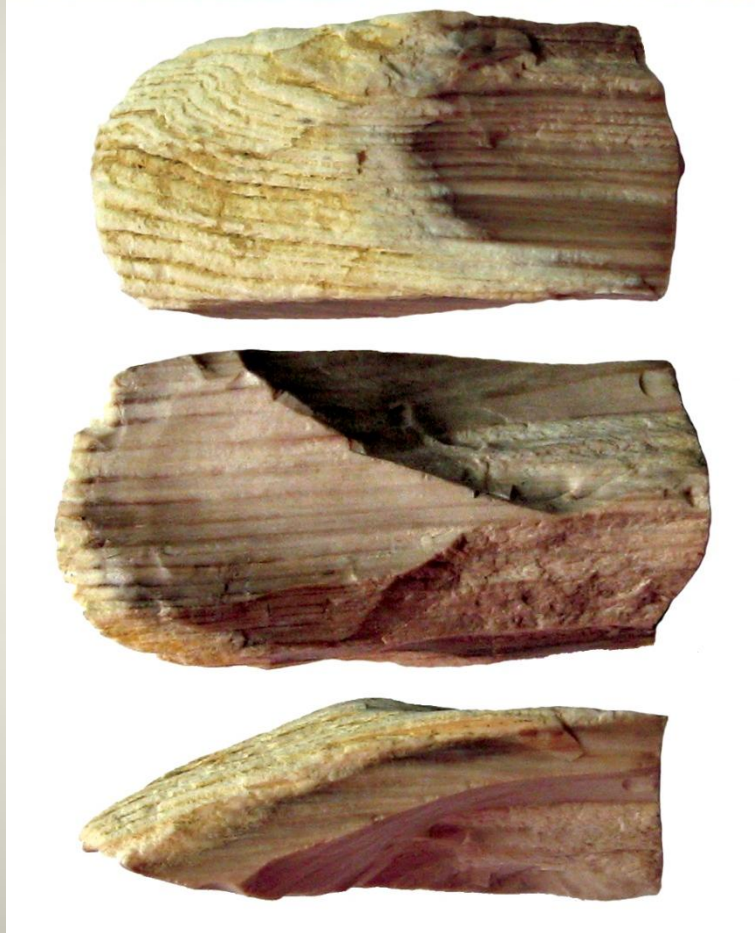
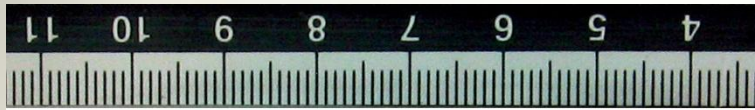
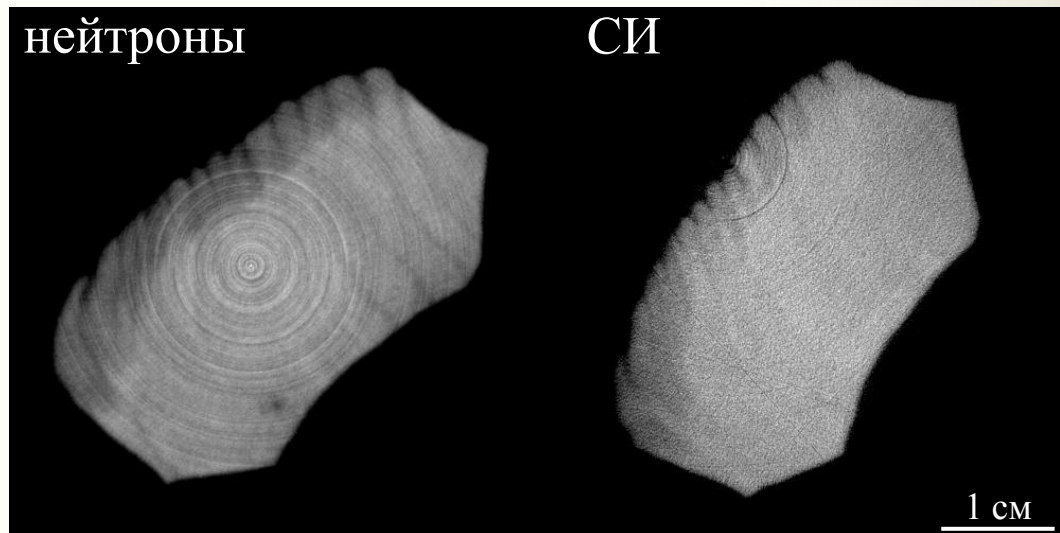
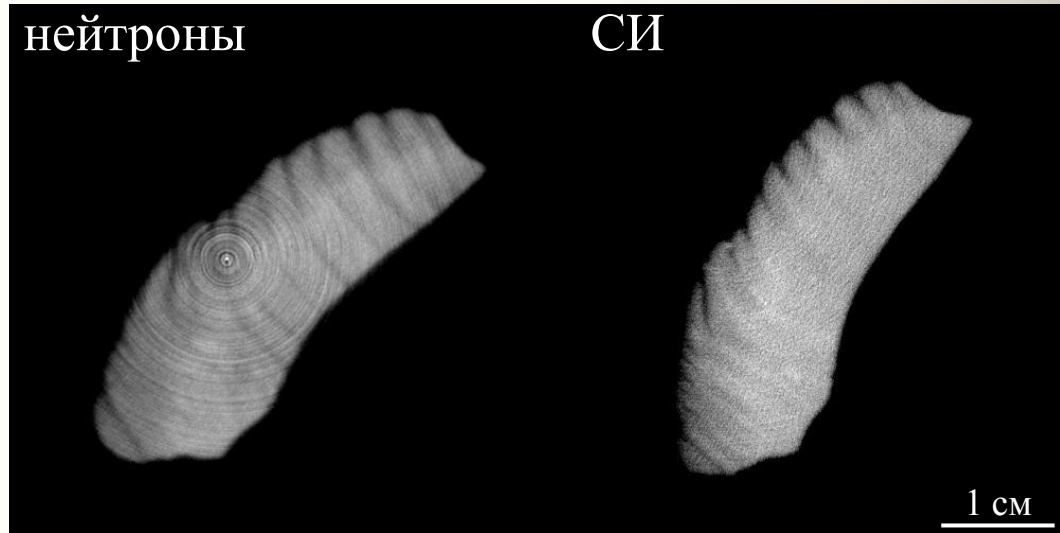


Фото араукарии



Восстановленные сечения, полученные с помощью нейтронов и СИ

# Выводы

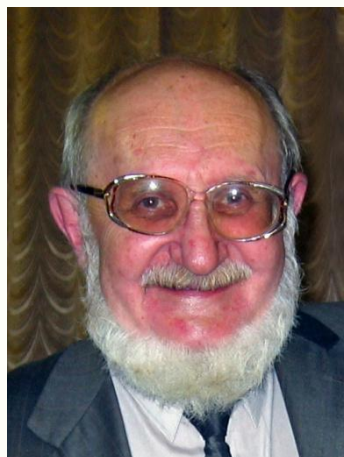
Использование нейтронов для интроскопии и томографии минеральных объектов дает возможность:

1. Улучшить проникающую способность
2. Различить элементы с близкими атомными номерами
3. Выявить наличие и распределение легких элементов (водород, бор, литий)
4. Таким образом, повысить информативность томографического исследования

# Коллектив



*Алексей Валентинович  
Пахневич*



*Виктор Александрович  
Соменков*




*Константин Михайлович  
Подурец*



*Александр Альбертович  
Калоян*



*Екатерина Сергеевна  
Коваленко*



**СПАСИБО!**