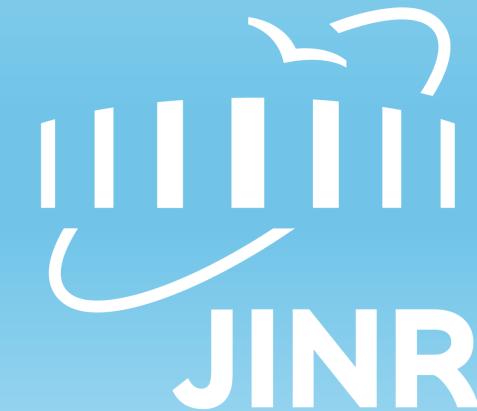




# Ядерные фотоэмulsionи и трековые детекторы как источники больших данных

---

Андрей Зайцев  
к.ф.-м.н. ЛФВЭ ОИЯИ  
эксперимент BECQUEREL

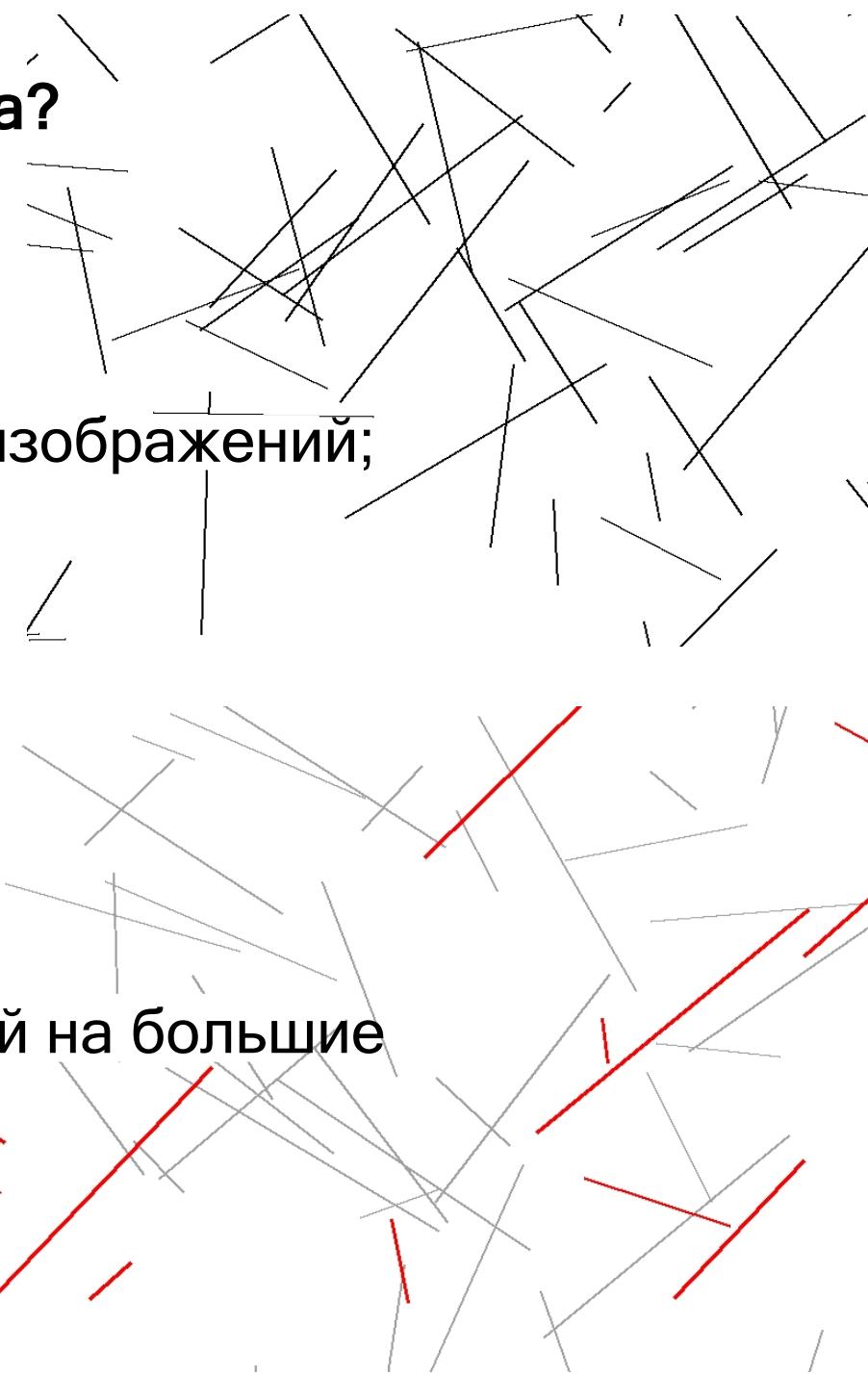


# Почему ядерные эмульсии и ТТД – это Big Data?

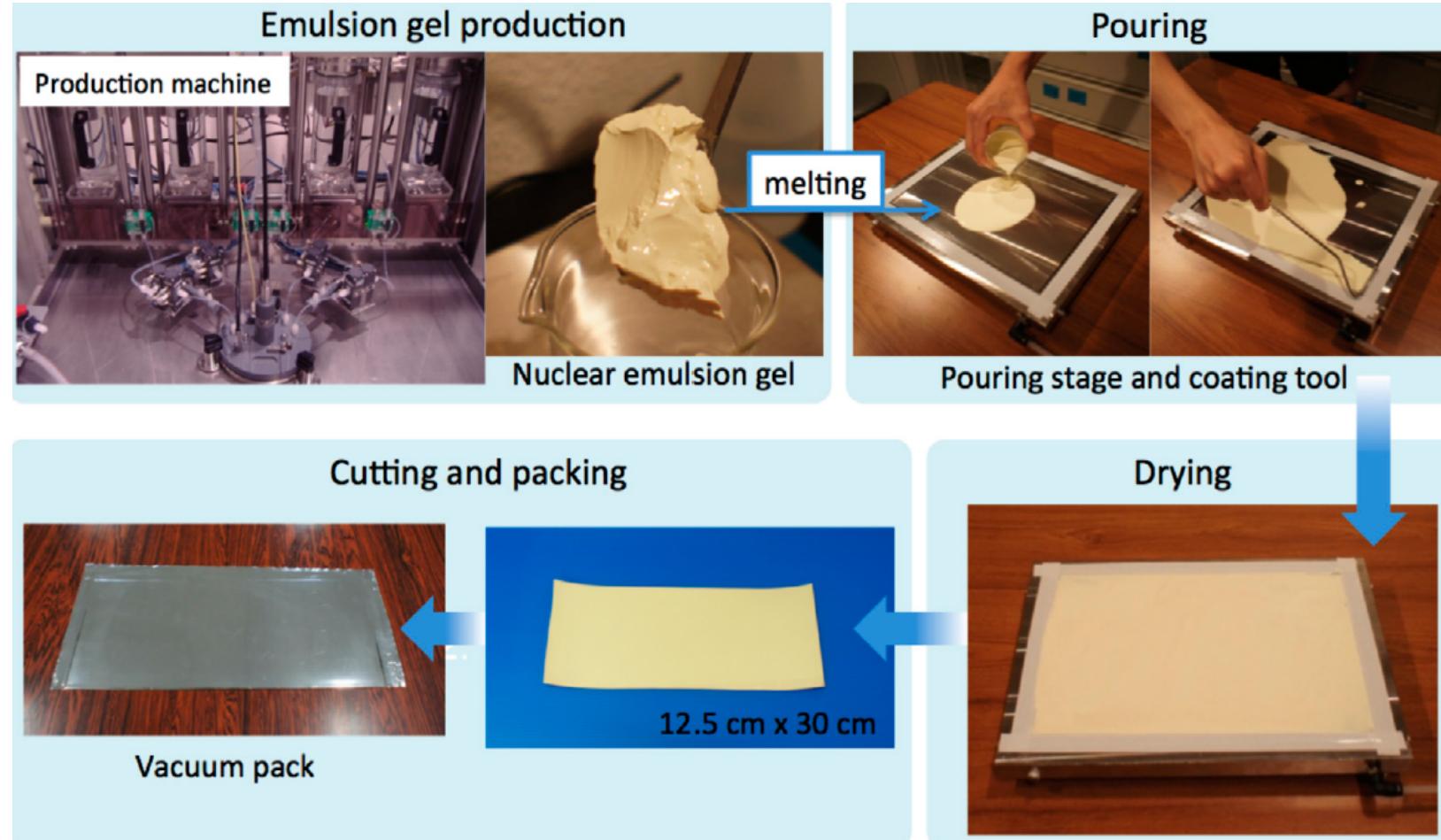
- большие площади детекторов (десятки м<sup>2</sup>);
- 3D-сканирование → десятки/сотни терабайт изображений;
- потребность в автоматической обработке;
- GPU-ускорение / нейросети;

## Объемы данных

- одно 3D-поле зрения: десятки МБ → млн полей на большие эксперименты
- полный набор данных OPERA >1 PB

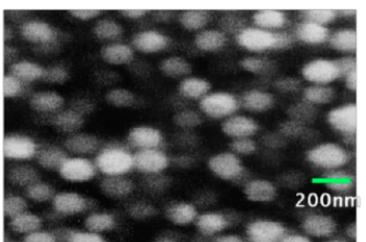


# Метод ядерных фотоэмulsionий (ЯЭ)

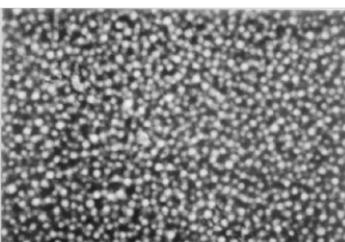


## Элементарный состав ЯЭ

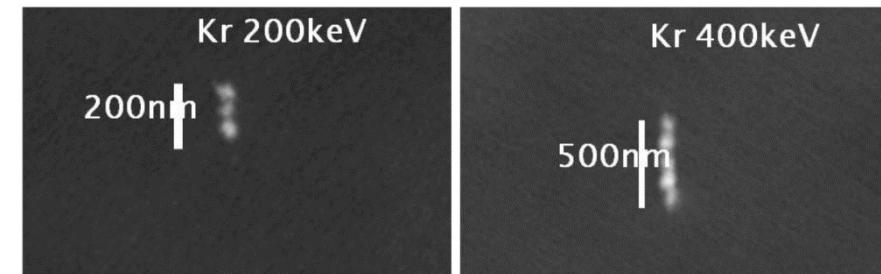
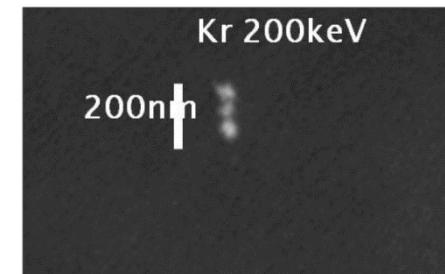
Element	Mass Fraction	Atomic Fraction
Ag	0.44	0.10
Br	0.32	0.10
I	0.019	0.004
C	0.101	0.214
O	0.074	0.118
N	0.027	0.049
H	0.016	0.410
S	0.003	0.003



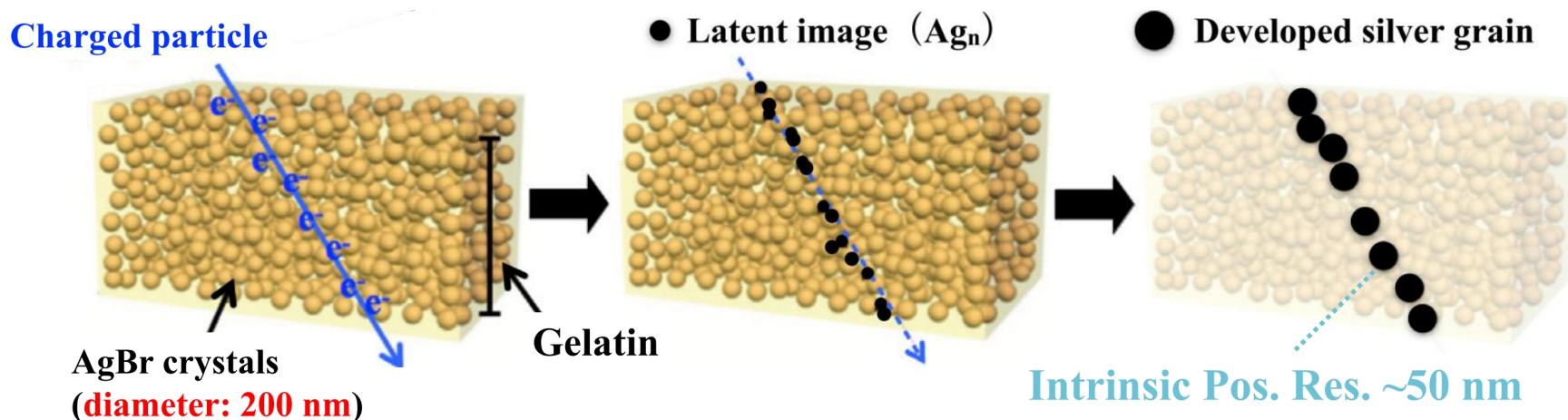
Grain size 200 nm



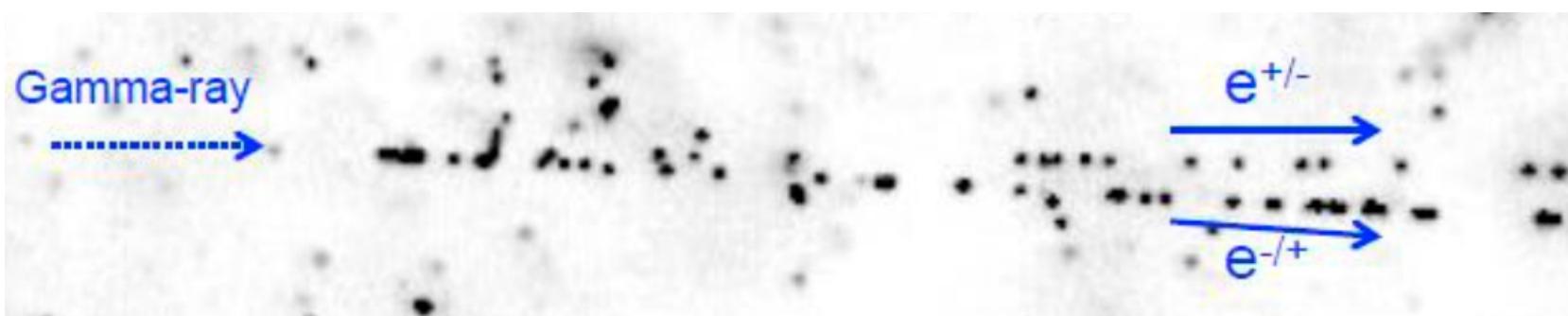
Grain size 40 nm



# Метод ядерных фотоэмульсий (ЯЭ)

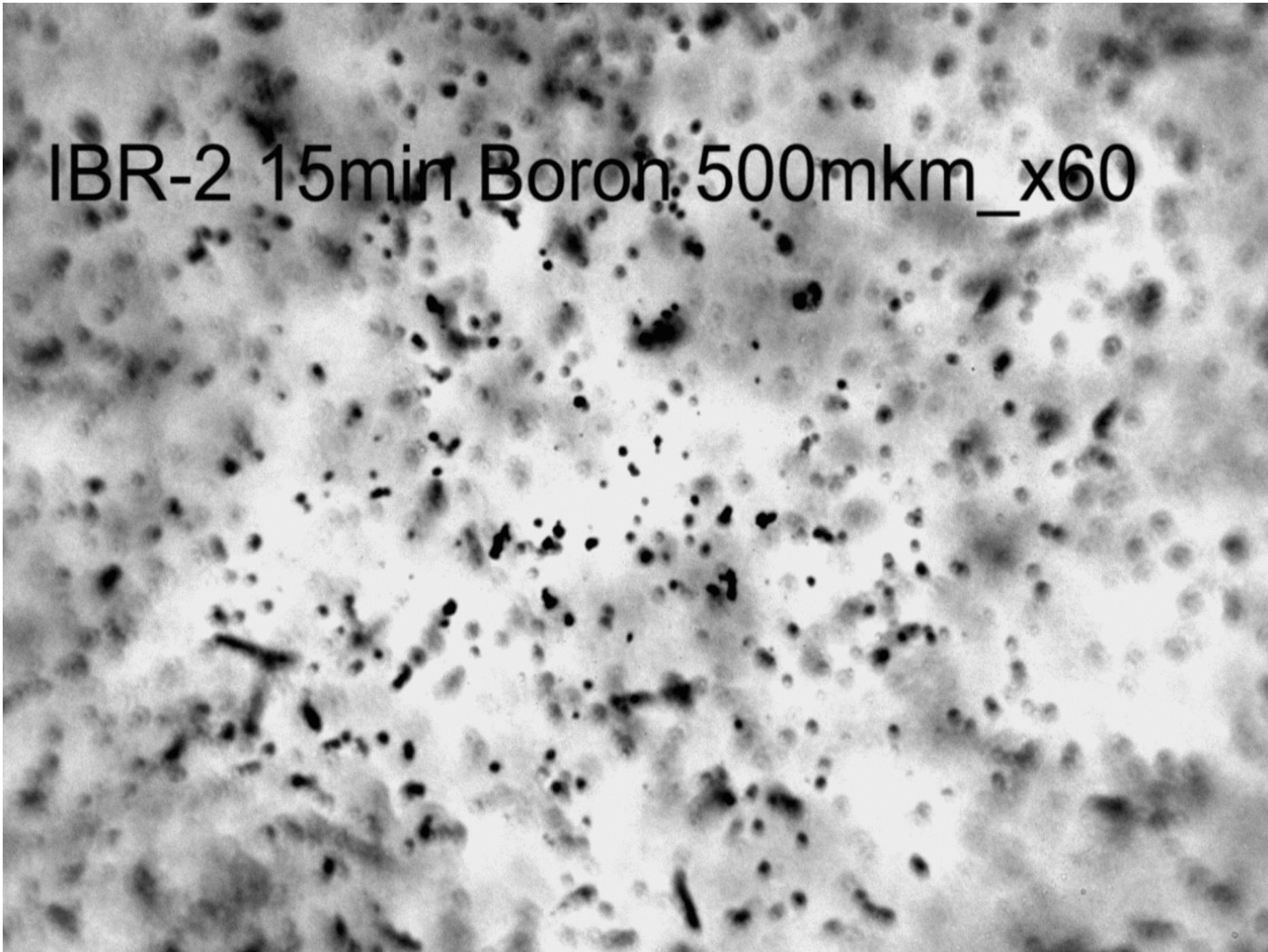


**basic detector: AgBr crystal,**  
size = 0.2 micron  
detection eff.= 0.16/crystal  
 **$10^{13}$  “detectors” per film**



	Square	Capacity	Readout speed
DVD disk	$111 \text{ cm}^2$	8.5 GB	$\leq 266 \text{ Mbps}$
Blue-ray disk	$111 \text{ cm}^2$	50 GB	$\leq 576 \text{ Mbps}$
Emulsion film	$125 \text{ cm}^2$	1-10 TB	$> 1 \text{ Gbps}$

IBR-2 15min Boron 500mkm\_x60



СБОР ИЗОБРАЖЕНИЙ



ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМОВ



СЕГМЕНТАЦИЯ ТРЕКОВ



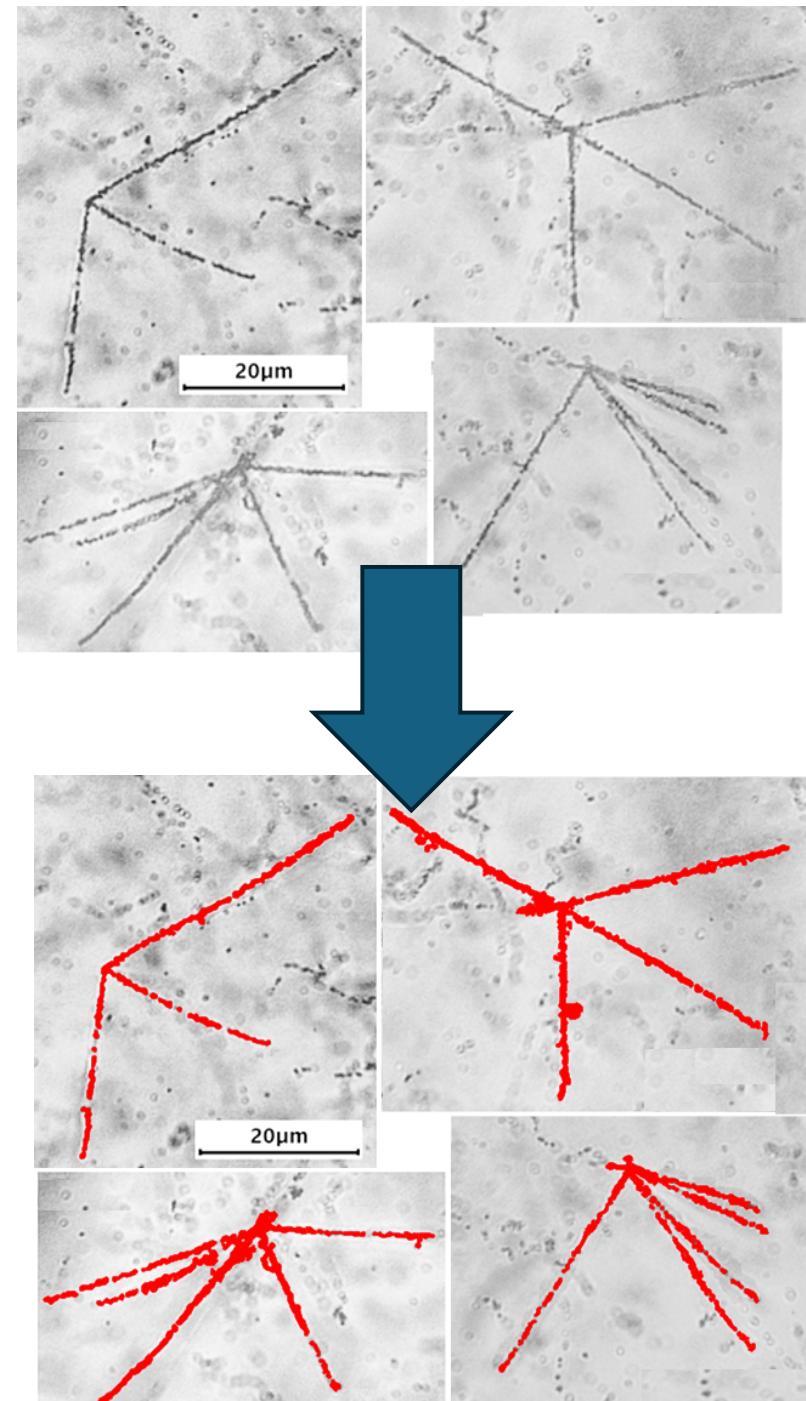
КЛАССИФИКАЦИЯ /  
ПОДБОР УГЛОВ



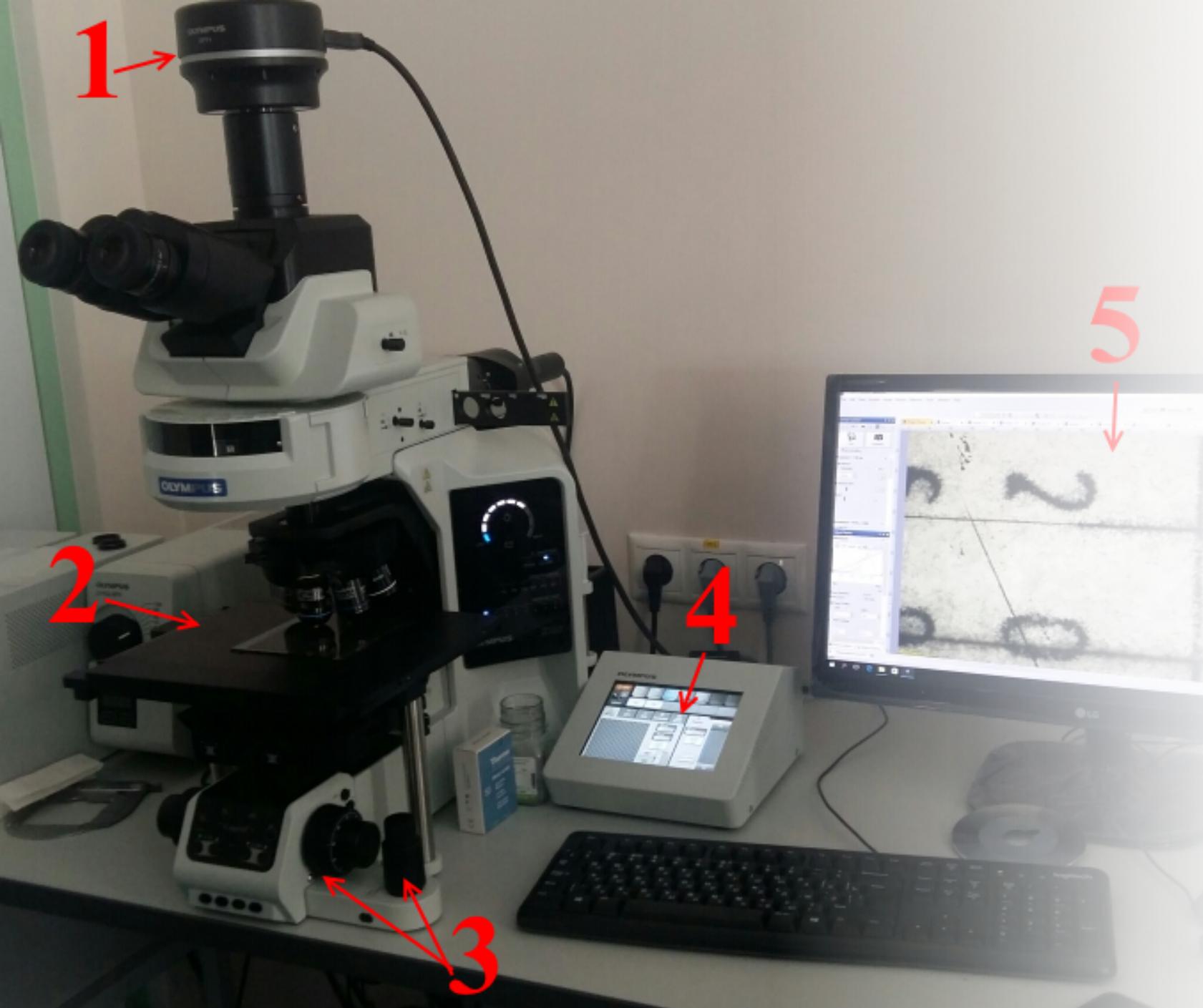
РЕКОНСТРУКЦИЯ В 3D



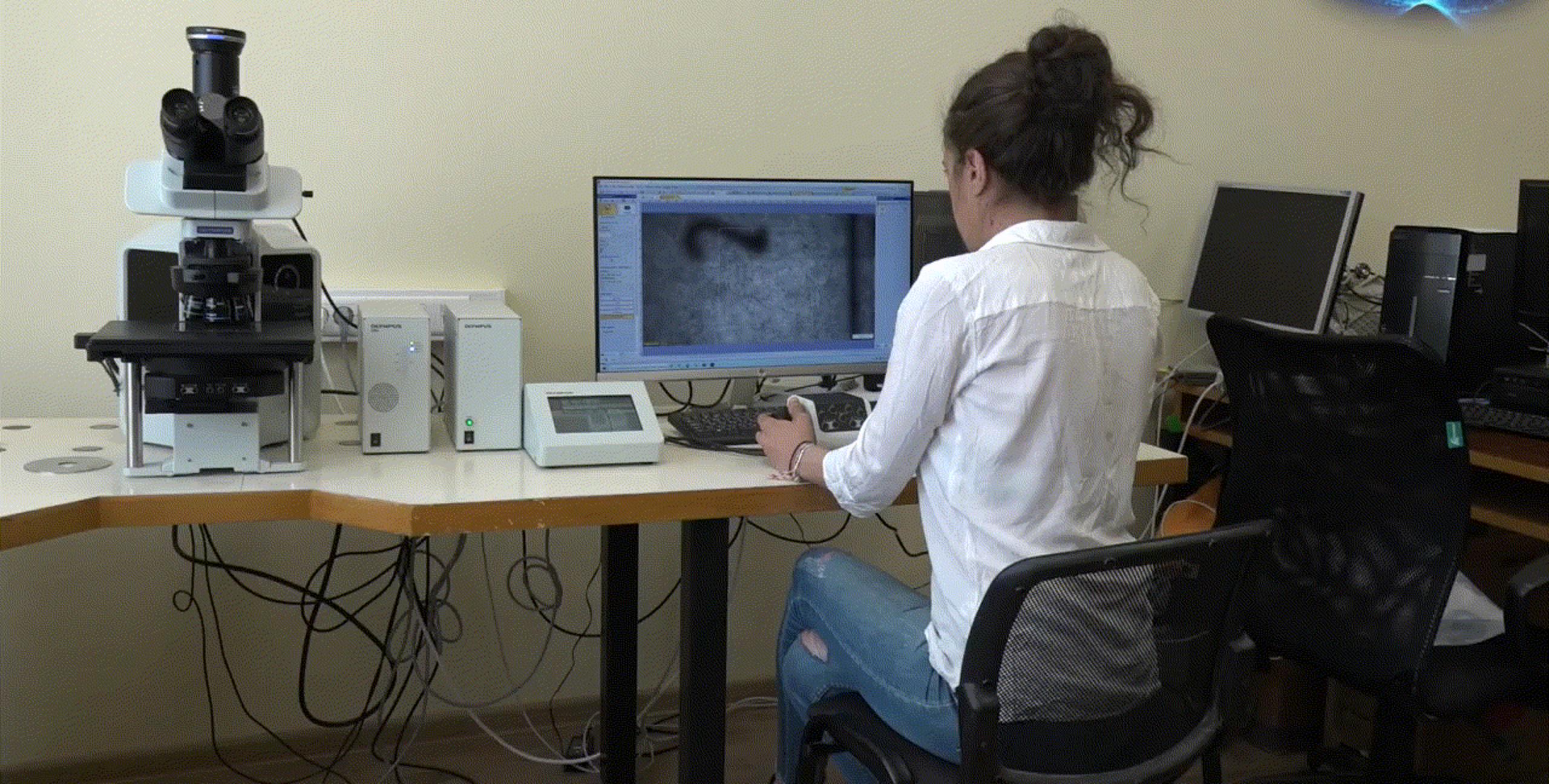
ФОРМИРОВАНИЕ СОБЫТИЙ



# Моторизованный микроскоп Olympus BX63



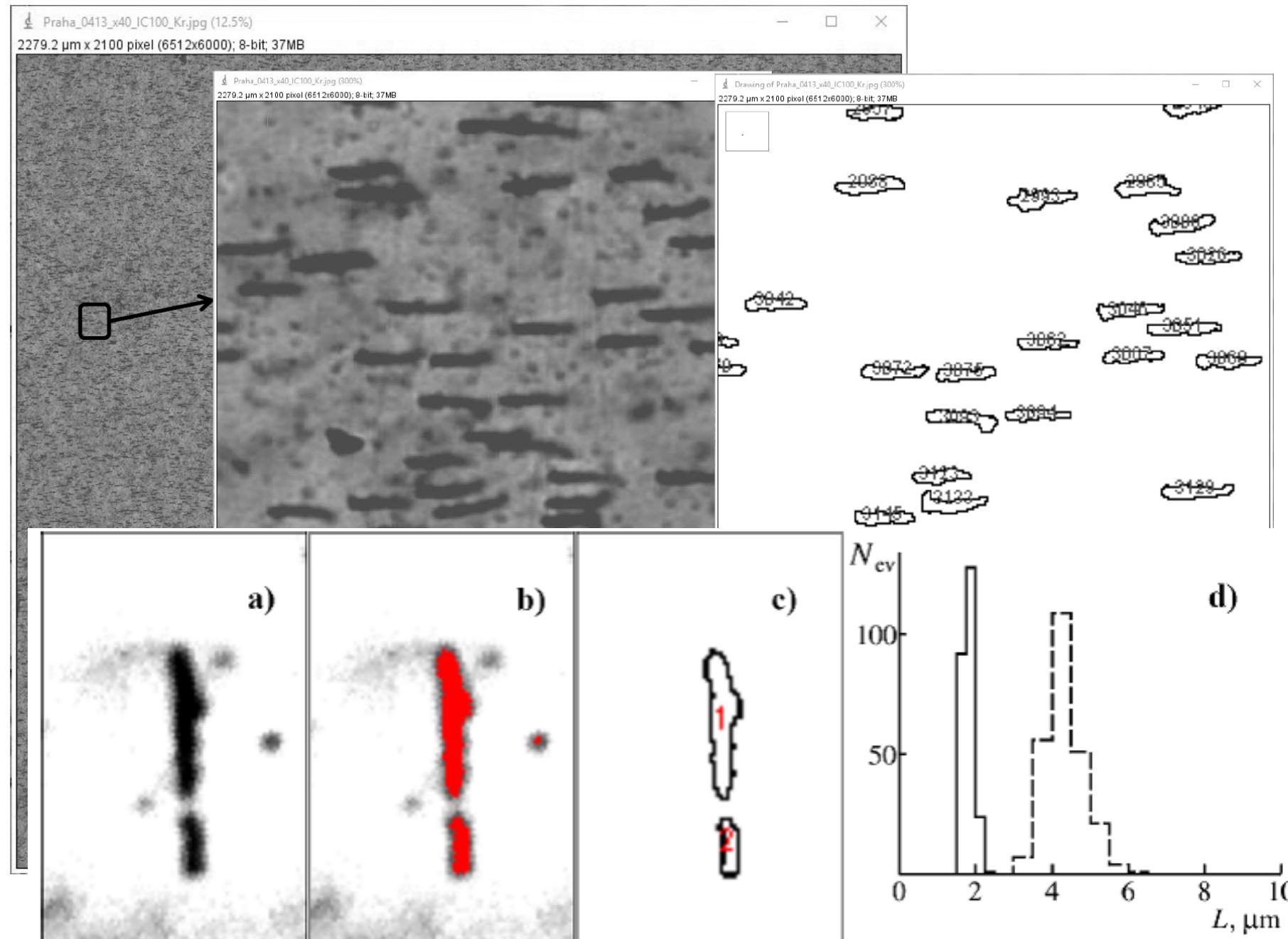
1. Цифровая CMOS камера DP74,
2. моторизованный предметный столик,
3. джойстики управления фокусом и перемещением предметного столика в плоскости ХОY,
4. блок управления микроскопом,
5. ПК для работы с получаемым изображением



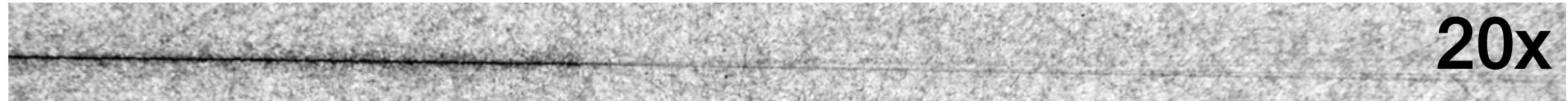


# Анализ изображений с помощью ImageJ

# imagej.net



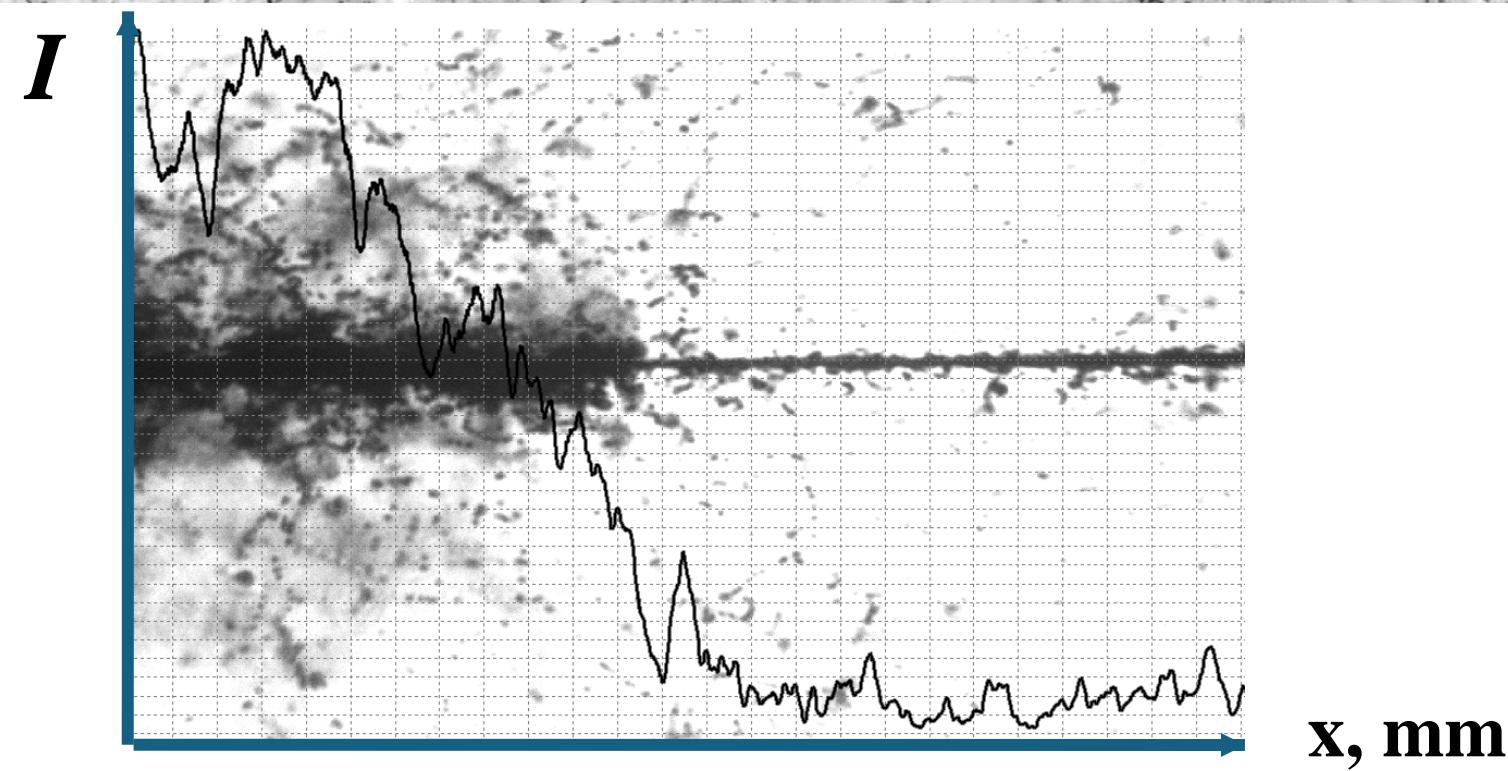
# Автоматизированный поиск ядерных взаимодействий в ЯЭ



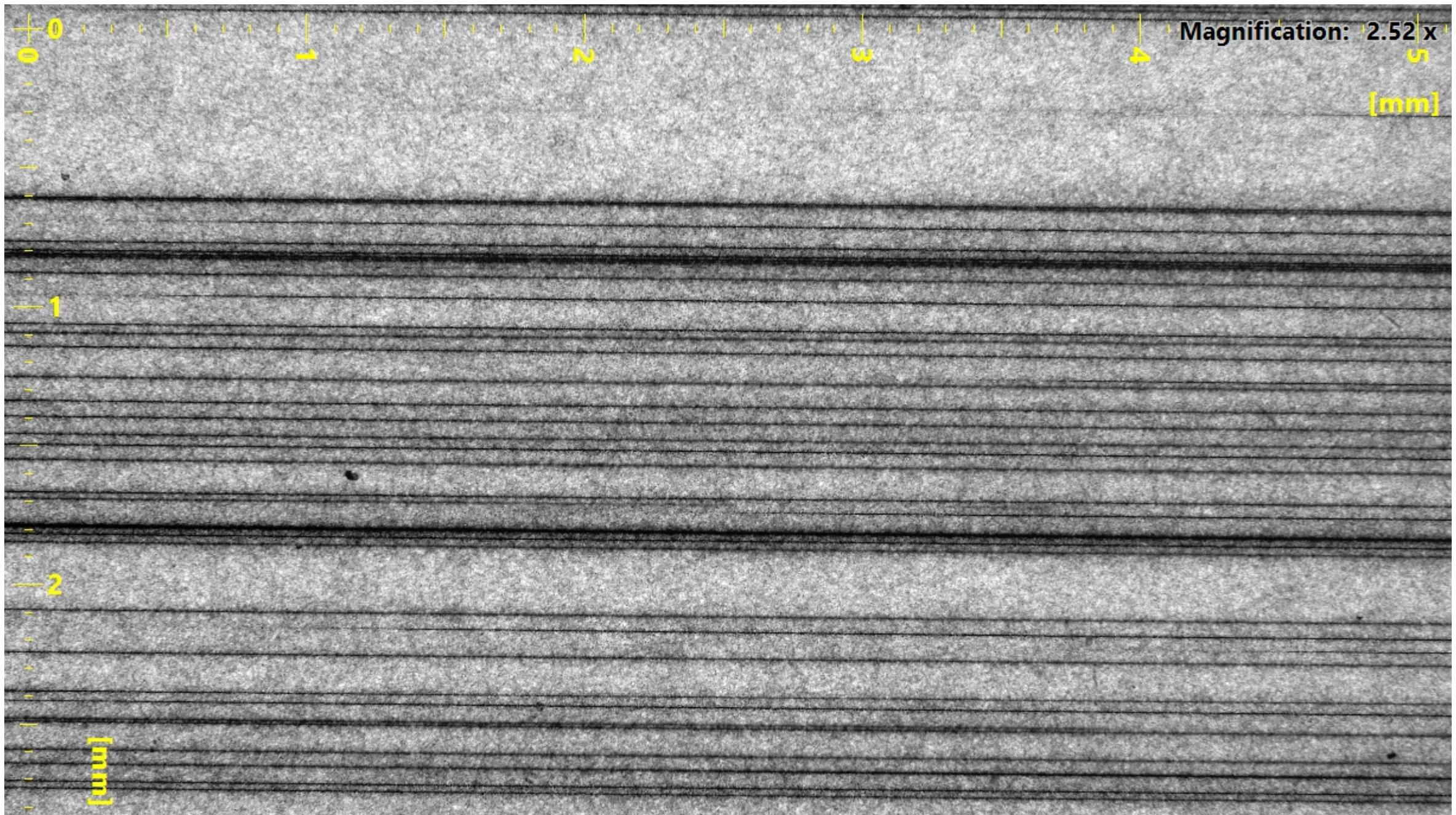
20x

40x

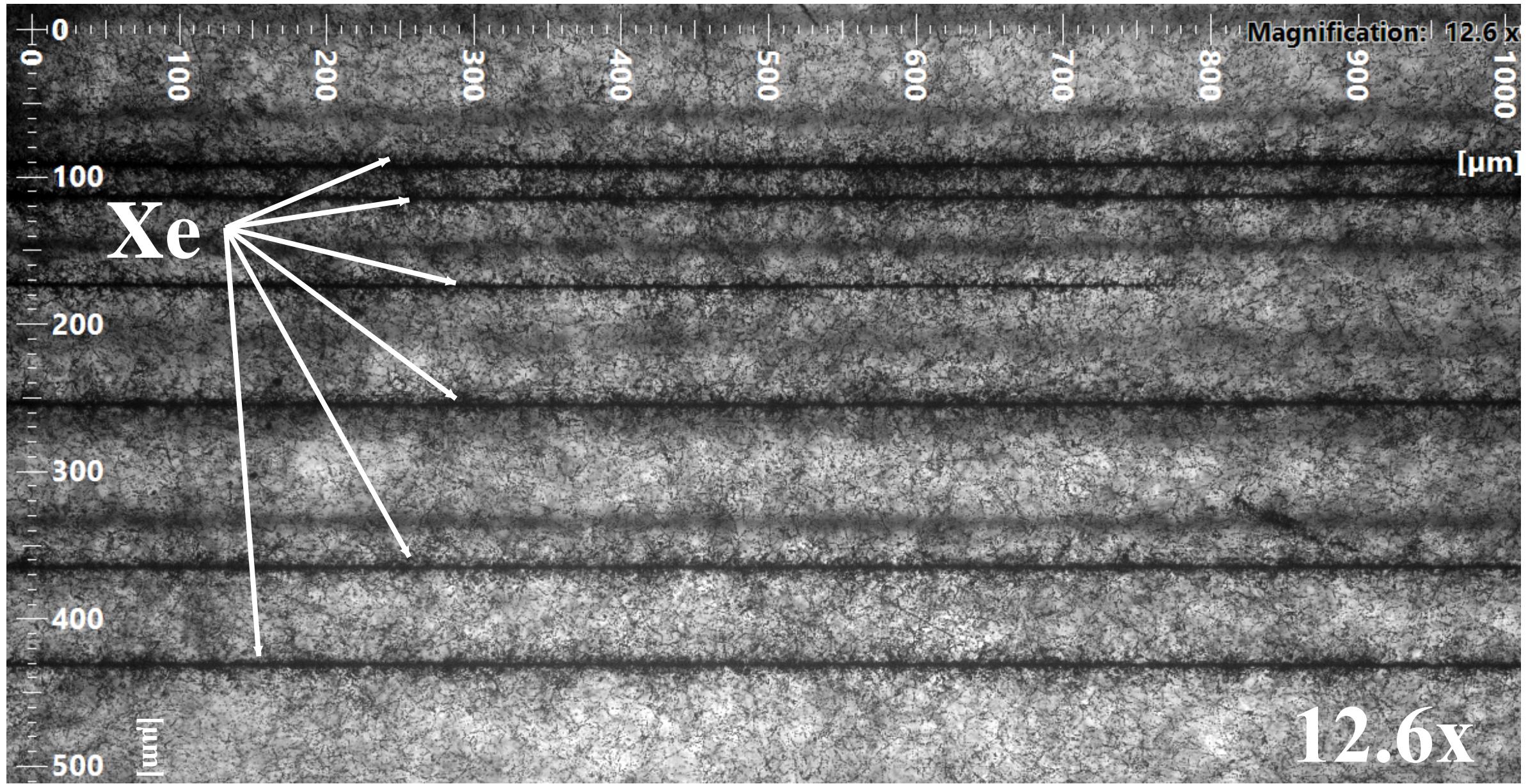
50  $\mu\text{m}$



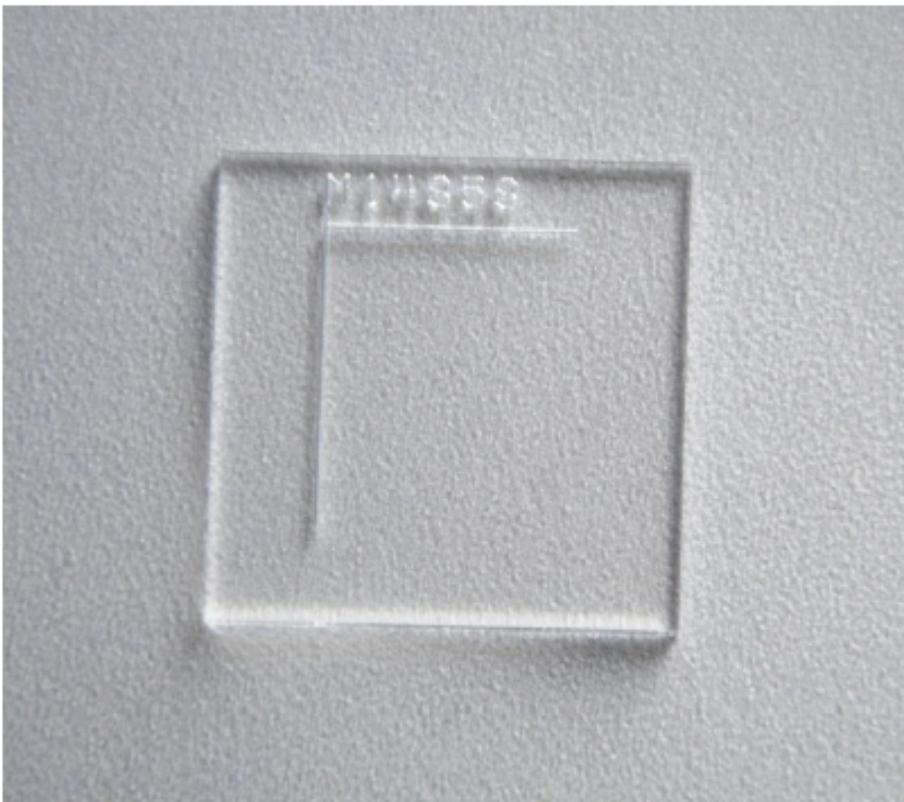
# Облучение ядерной эмульсии ядрами ксенона F3 (2022 г.)



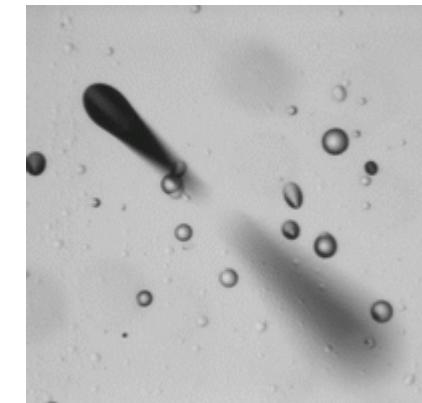
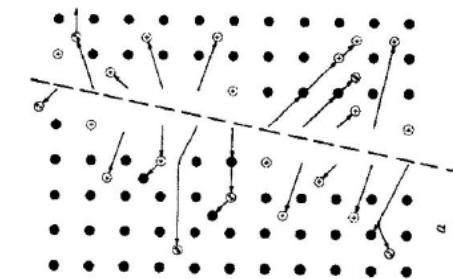
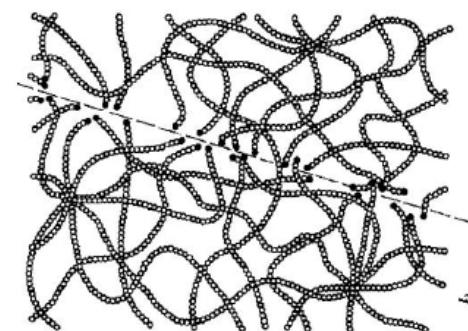
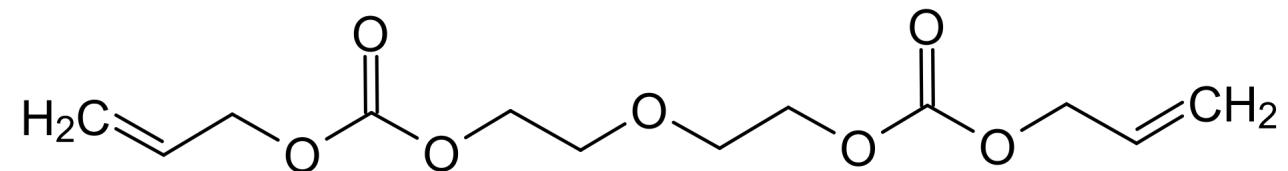
# Увеличенное изображение ядерной эмульсии, облученной в пучке ядер Хе на выведенном канале в точке F3 (2022 г.)



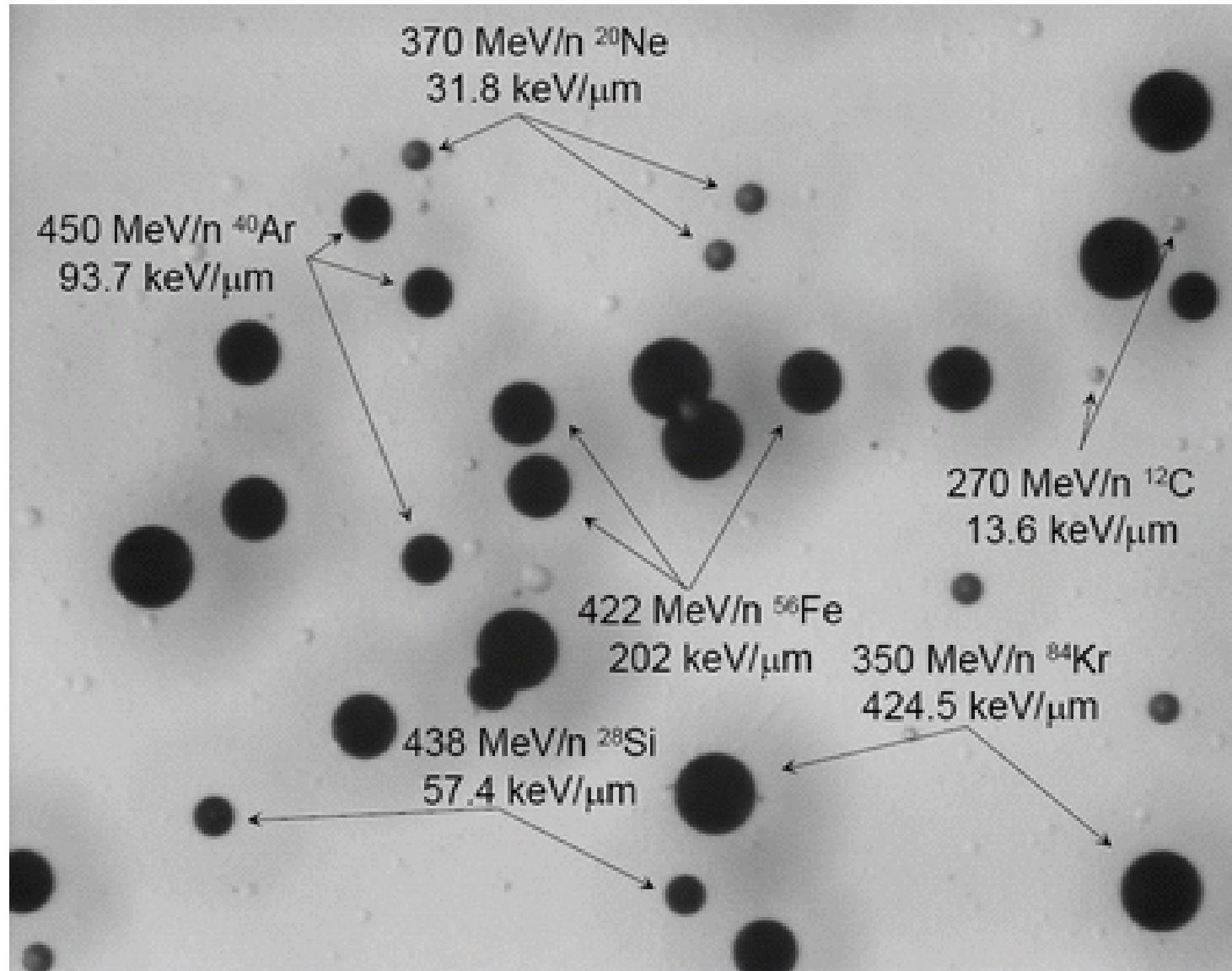
# Метод твердотельных детекторов



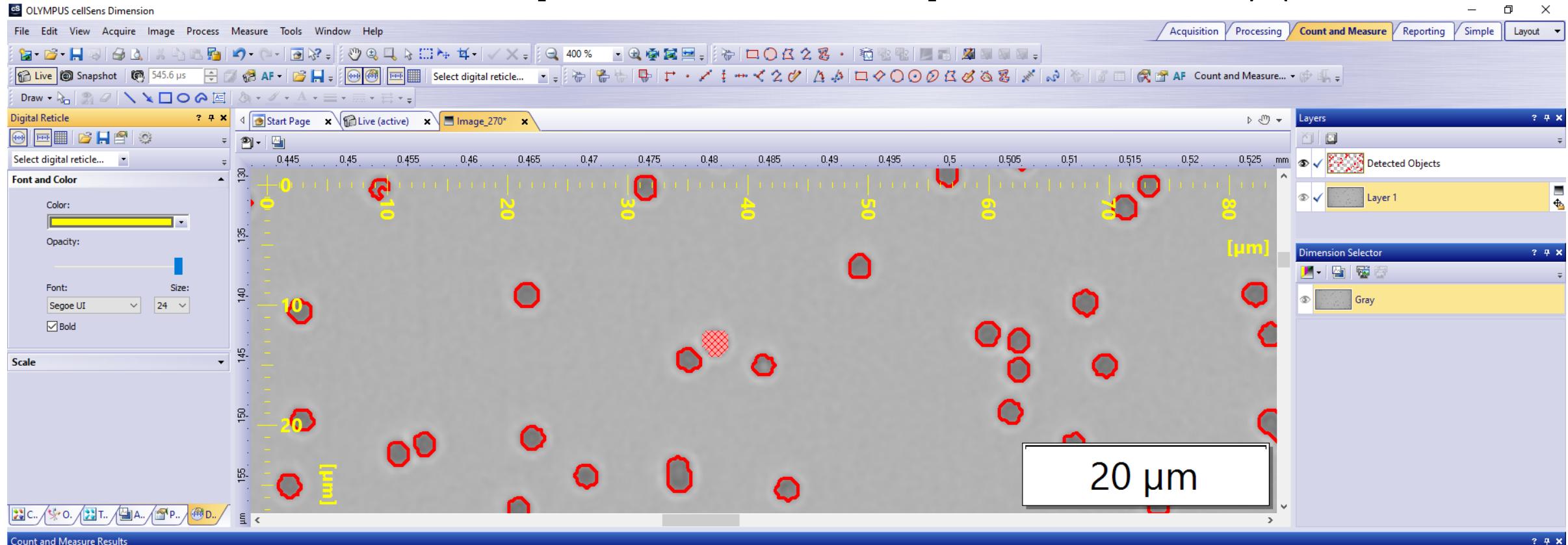
Аллилдигликолькарбонат (АДК)  
«Columbia Resin» №39



# Метод твердотельных трековых детекторов



# Автоматизированное сканирование ТТД



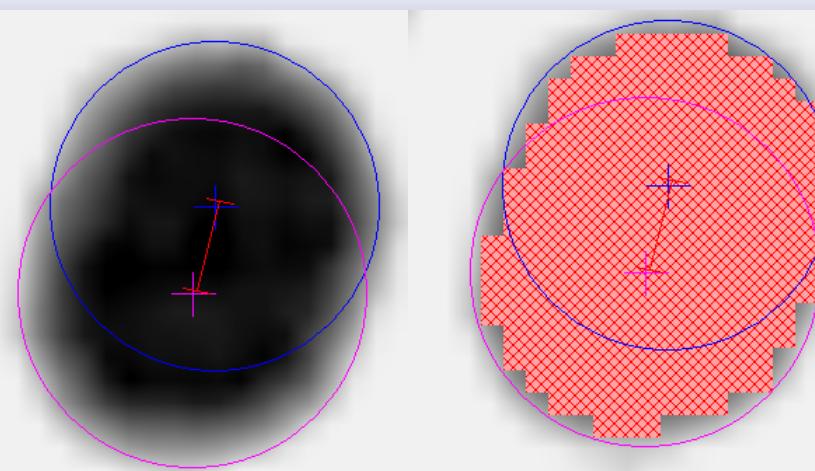
Count and Measure Results

Object Measurements Object Filter Class Measurements Class Histogram ROI Measurements ROI Histogram

	Object Class	Object ID	Area [μm <sup>2</sup> ]	Center of Mass X [μm]	Center of Mass Y [μm]	Mea
1471	1	1471	3.9399	480.5583	143.8894	
1472	1	1472	3.0643	576.1028	143.8408	
1473	1	1473	3.5021	598.2294	143.8344	
1474	1	1474	3.7210	714.7018	143.9138	
1475	1	1475	3.5751	844.7516	143.8454	
1476	1	1476	4.0128	903.8446	143.9424	
1477	1	1477	5.9098	609.7833	144.6614	
1478	1	1478	11.3088	213.6015	144.7545	
1479	1	1479	3.9399	254.6201	144.5096	
1480	1	1480	3.5751	542.3260	144.5124	
Count	-	-	5803	5803	5803	
Count in filter ranges	-	-	5803	5803	5803	
Mean	-	-	4.1059	573.9250	283.8555	
Standard Deviation	-	-	1.7908	321.0697	165.1803	

Ready

Чтобы начать поиск, введите здесь запрос



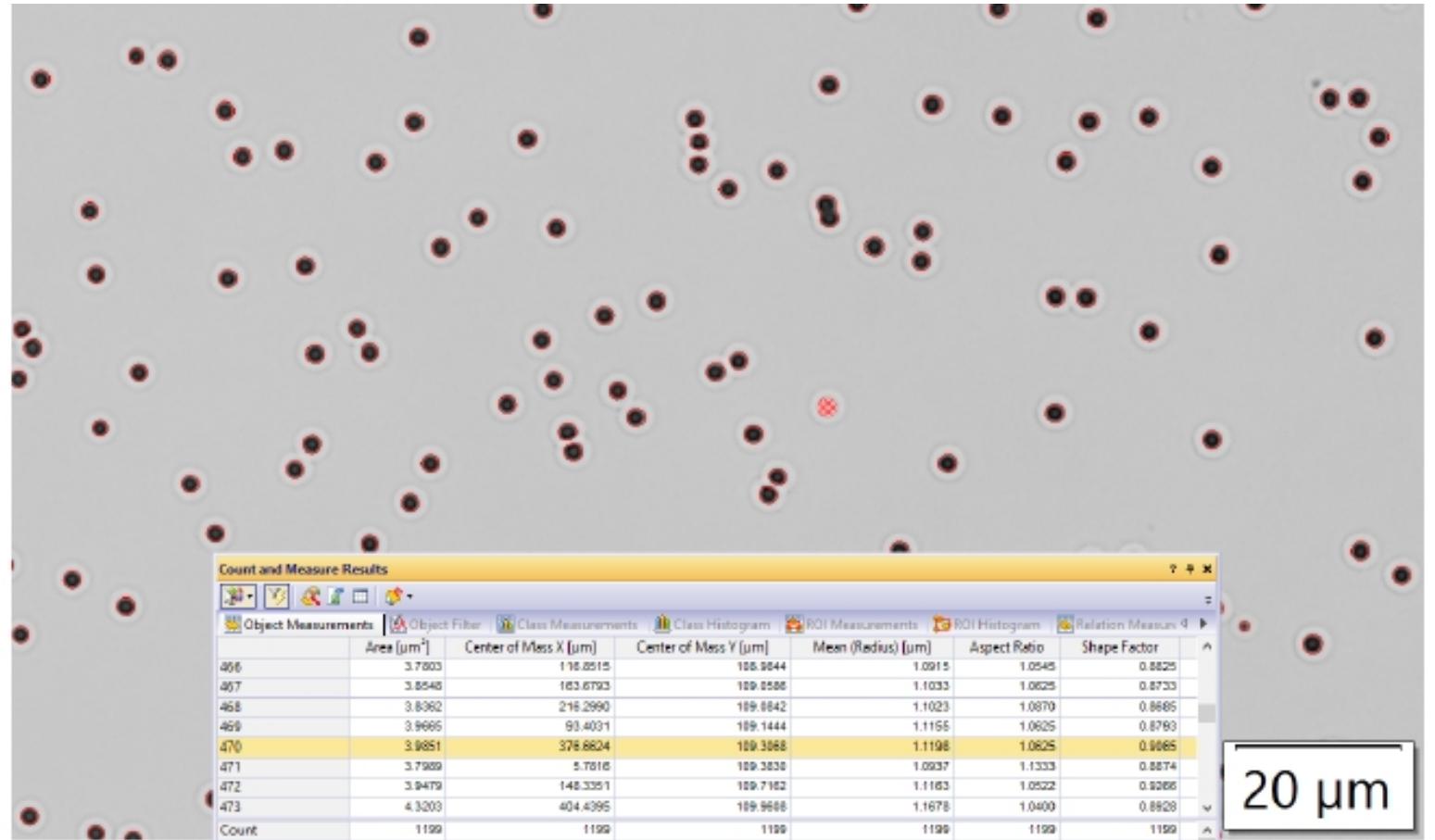
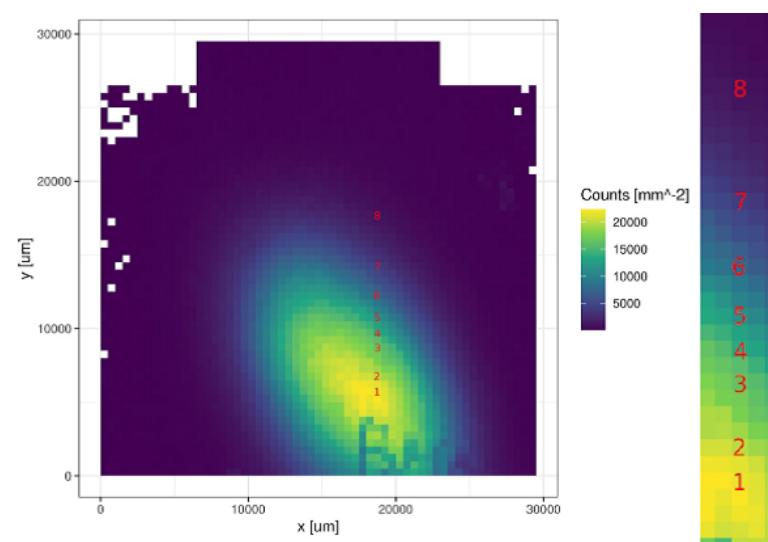
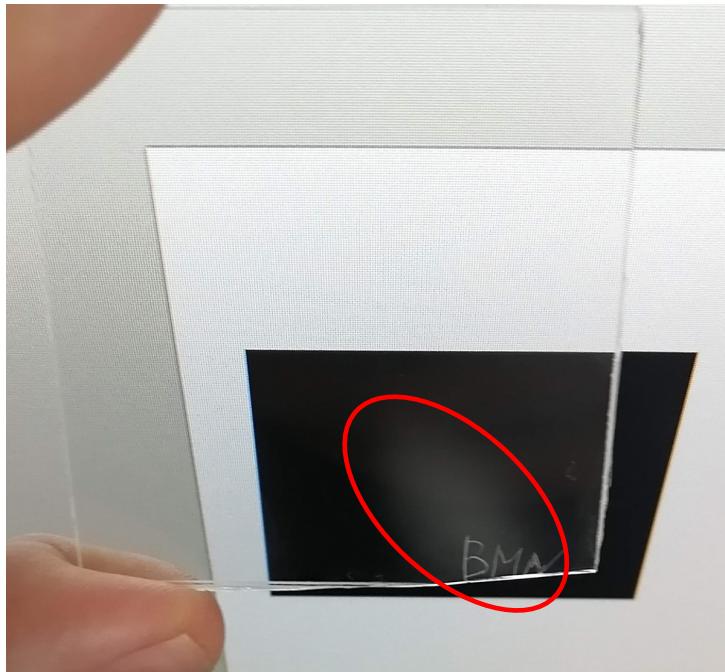
(7) Length 0.56 μm

Count and Measure Results

Object Measurements Object Filter

	Aspect Ratio
235	1.27
236	1.25
237	1.26

# Автоматический анализ ТТД CR39



Увеличенное изображение облученного образца CR39, полученное с помощью микроскопа Olympus BX63. Представлена процедура автоматического анализа и счета входящих треков («дырок») ядер Хе в плоскость детектора CR39, реализованного в фирменном программном обеспечении CellSens Olympus.



# Научная программа START на базе ОИЯИ

- Условия:
- Область научных интересов соответствует одному из научных направлений ОИЯИ.
- Студент 3-го или 4-го курса бакалавриата, магистратуры или аспирант 1-го курса.

<https://start.jinr.ru/>



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH  
Veksler and Baldin laboratory of High Energy Physics

## FINAL REPORT ON THE START PROGRAMME

*Analysis of the Irradiation of CR-39 Solid-State Nuclear Track Detector with a  $^{124}\text{Xe}$  Beam at 3.85 A GeV*

**Supervisor:**  
Dr. Pavel Zarubin

**Student:**  
Stanislau Murashka, Belarus  
Belarusian State University

**Participation period:**  
February 22 – March 11,  
Winter Session 2023



Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

Факультет физики и информационных технологий  
Кафедра теоретической физики

Допущена к защите  
Зав. кафедрой Тюменков Г.Ю.

"\_\_\_" \_\_\_\_ 20\_\_ г.

Анализ особенностей периферических  
взаимодействий легких релятивистских ядер в  
ядерной эмульсии

Магистерская диссертация

Исполнитель  
студентка группы КФ-57

О.Н. Кашанская

Научный руководитель  
заведующий кафедрой теоретической физики,  
к.ф.-м. наук, доцент

Г.Ю. Тюменков

Консультант  
научный сотрудник НЭОФТИ ЛФВЭ ОИЯИ,  
к.ф.-м. наук

А.А. Зайцев

Рецензент  
профессор кафедры оптики  
д.ф.-м. наук, доцент

С.А. Хахомов

# Заключение

- ядерные фотоэмulsionи и твердотельные трековые детекторы остаются высокоточным инструментом для регистрации заряженных частиц
- современные системы сканирования превращают обработку эмульсий и CR-39 в задачу класса **Data.**
- автоматизация и нейросетевые методы значительно ускоряют анализ
- имплементация алгоритмов распознавания изображений позволяют исследовать редкие события и большие массивы данных
- развитие технологий и участие молодых исследователей открывают новые перспективы для фундаментальных и прикладных применений

**Спасибо за внимание!**



**[becquerel.jinr.ru](http://becquerel.jinr.ru)**