

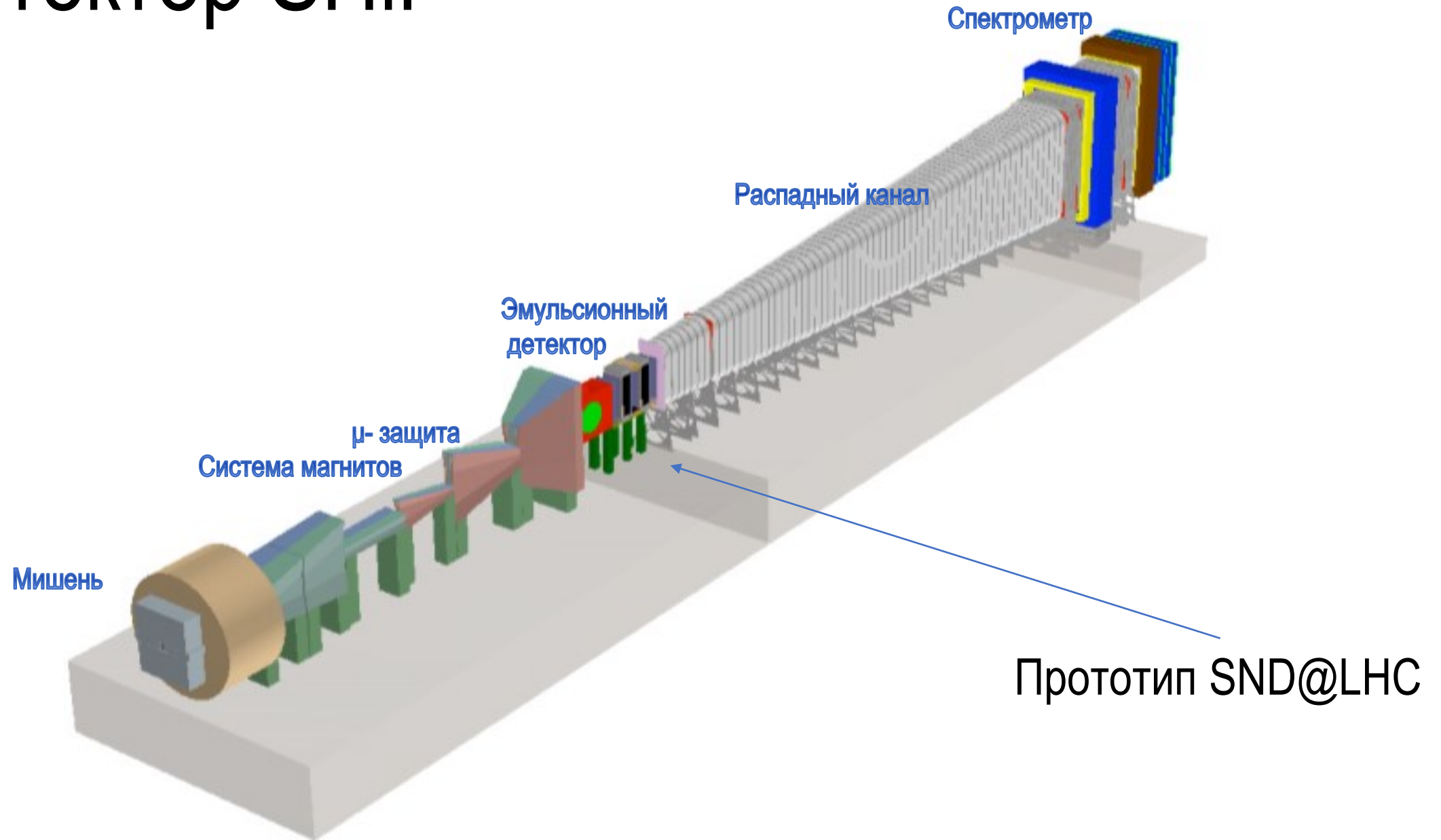
# Модернизация микроскопа ПАВИКОМ (Полностью АВтоматизированный Измерительный КОМПлекс) в рамках эксперимента SND @ LHC

Садыков Жакыпбек,  
аспирант НИТУ МИСИС, м.н.с. ФИАН

# Содержание

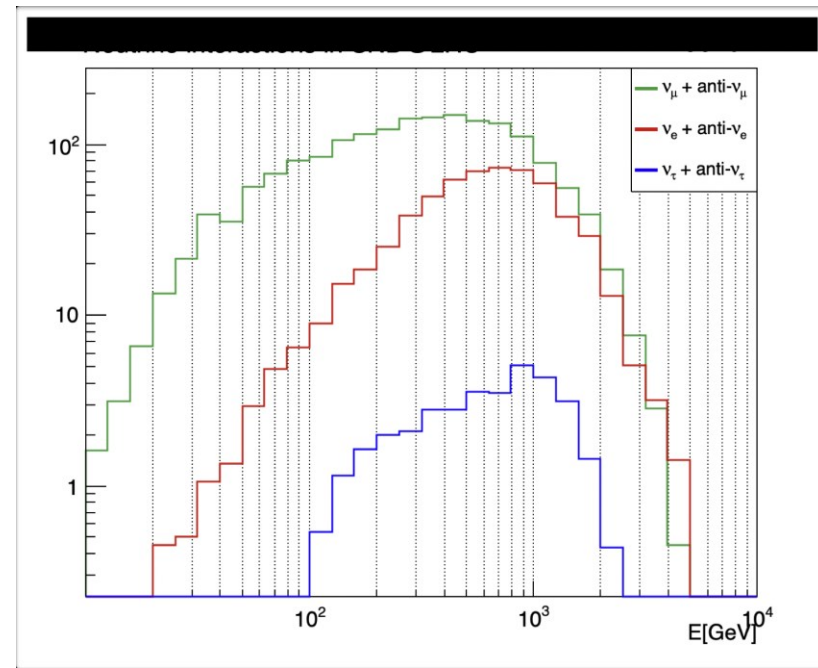
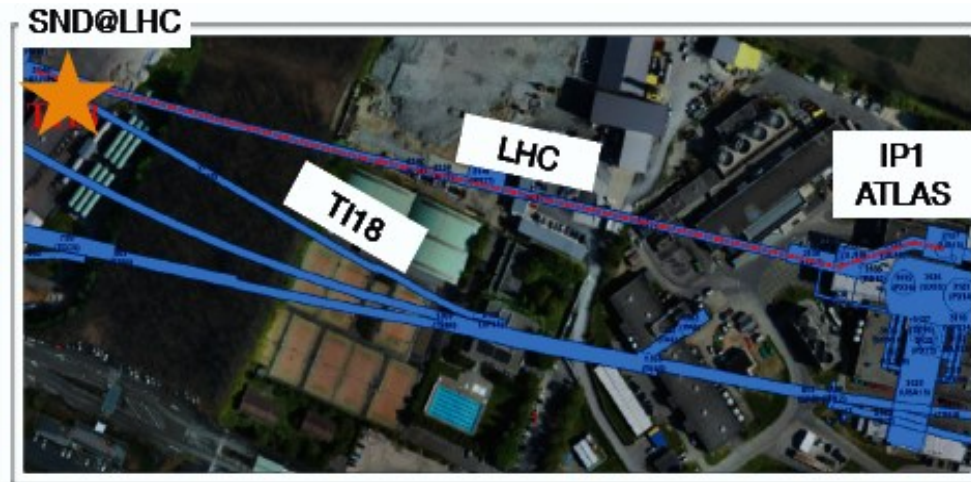
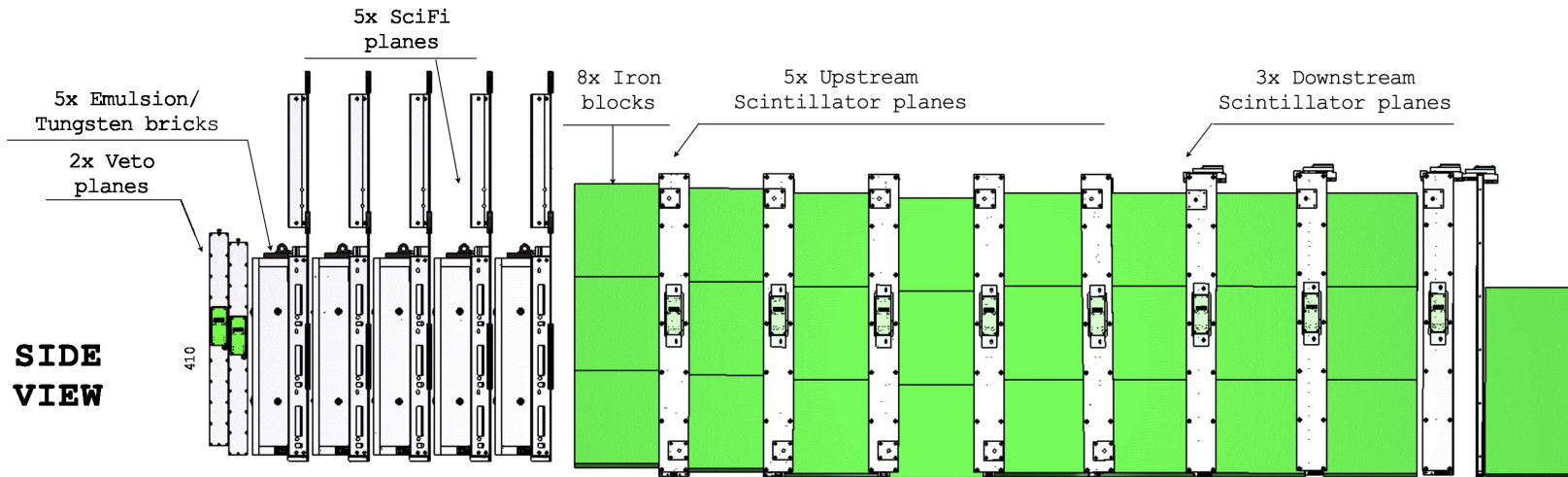
1. Эксперимент SND@LHC
2. Ядерная эмульсия
3. Принцип работы сканирующих станций
4. ПАВИКОМ-1

# Детектор SHiP

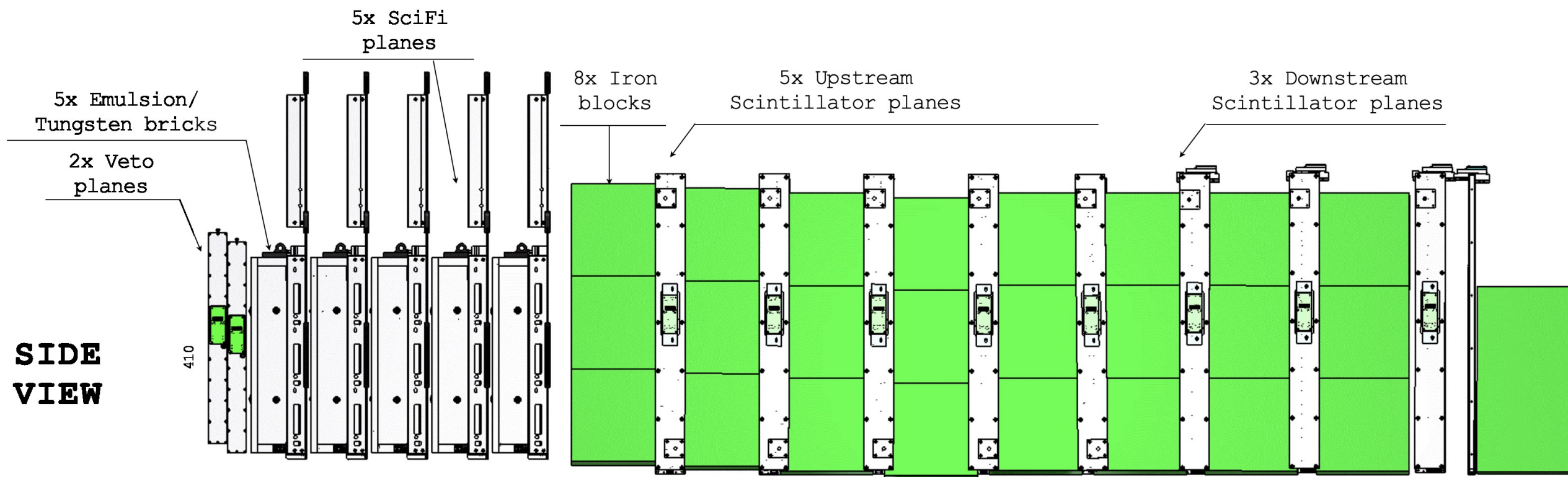


# SND@LHC

THE SCATTERING AND NEUTRINO DETECTOR AT THE LHC

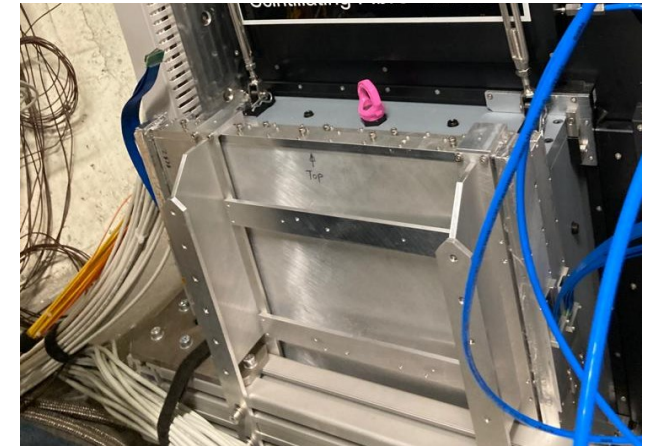
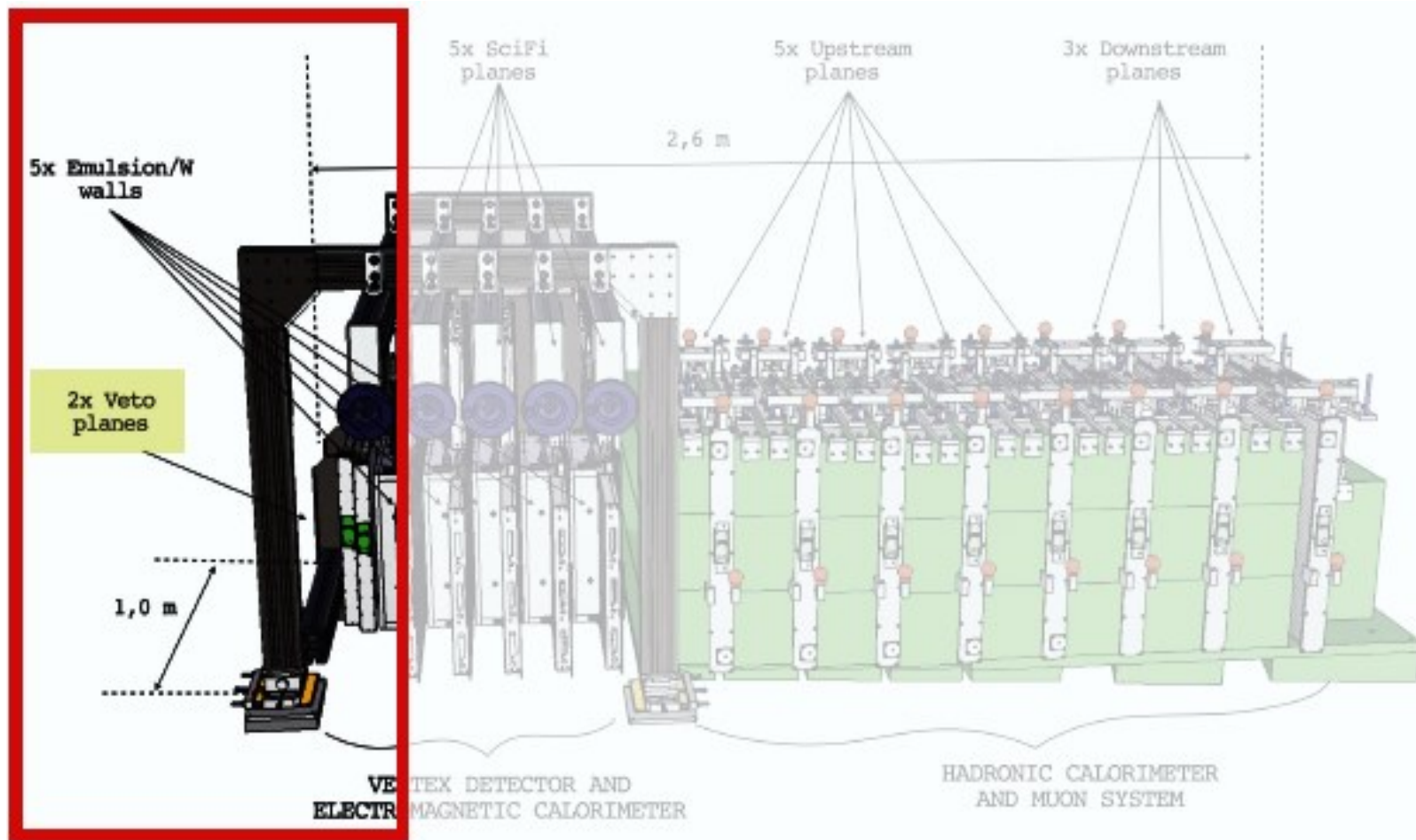


# КОНФИГУРАЦИЯ ДЕТЕКТОРА



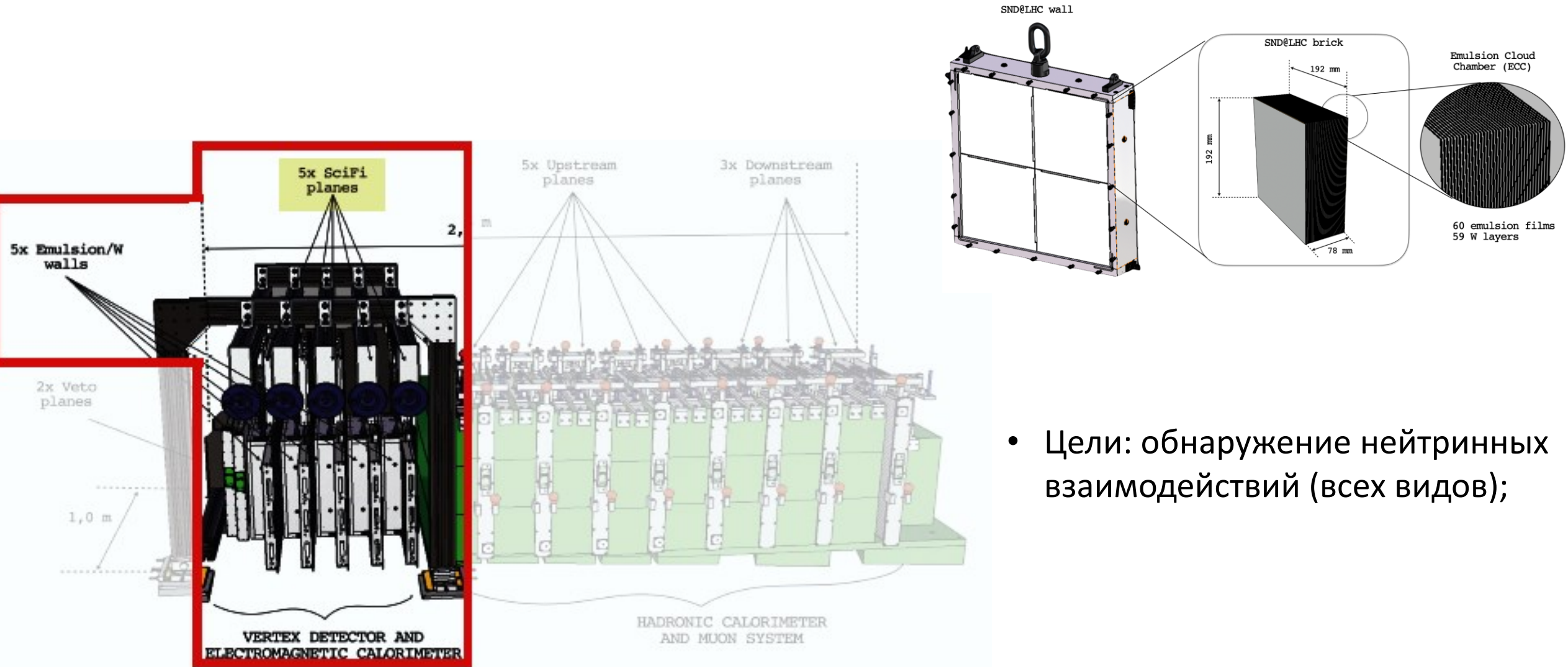


# BETO



- Цель: фиксация заряженных фоновых частиц
- Расположен перед нейтринной мишенью

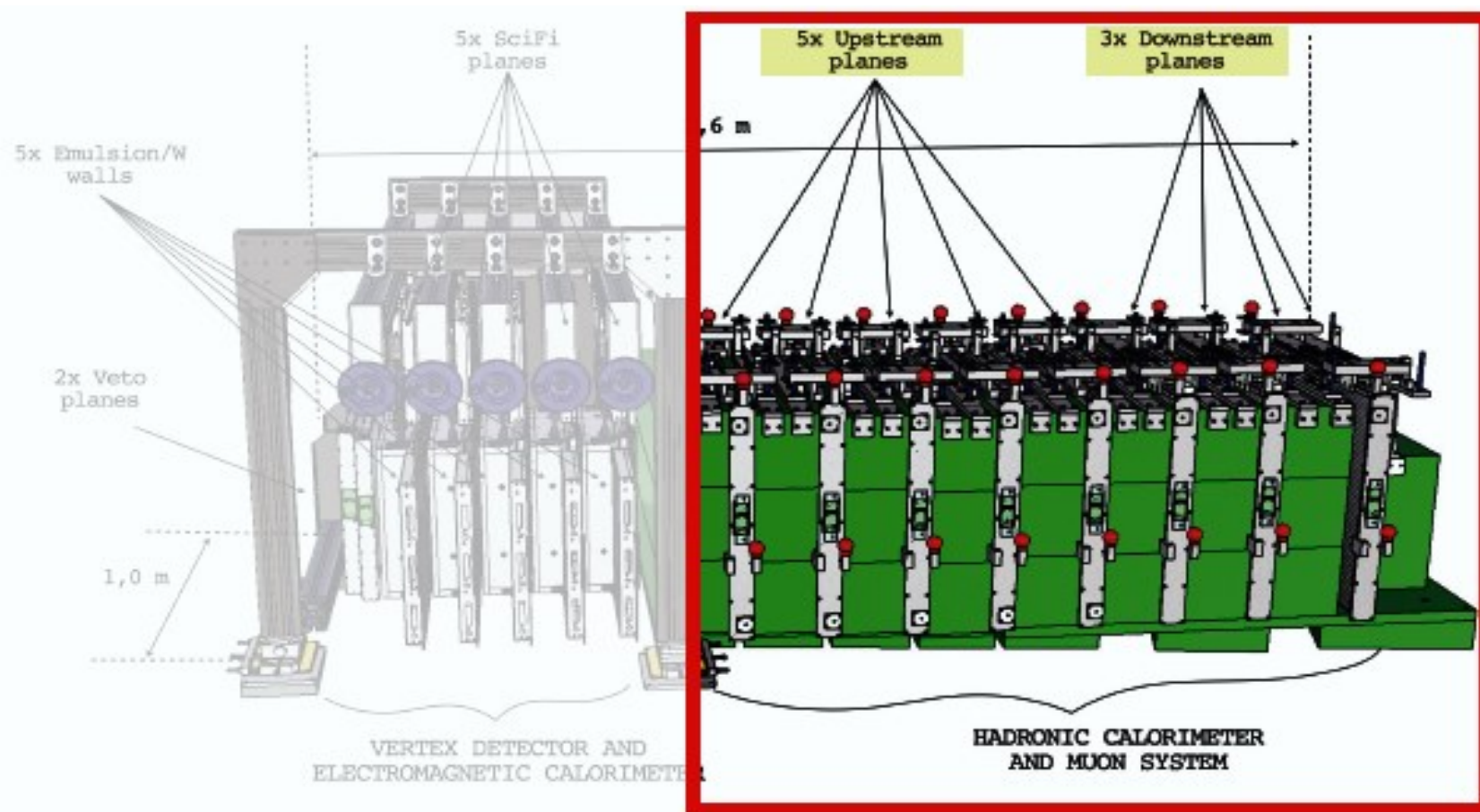
# НЕЙТРИННАЯ МИШЕНЬ И ВЕРШИННЫЙ ДЕТЕКТОР



- Цели: обнаружение нейтринных взаимодействий (всех видов);



# МЮОННАЯ СИСТЕМА И АДРОННЫЙ КАЛОРИМЕТР

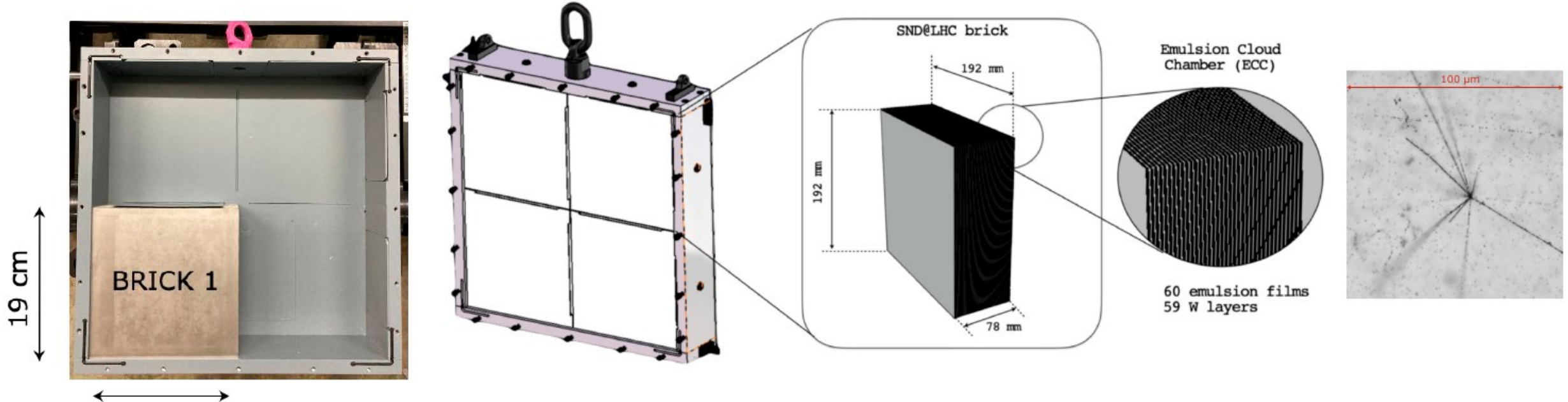


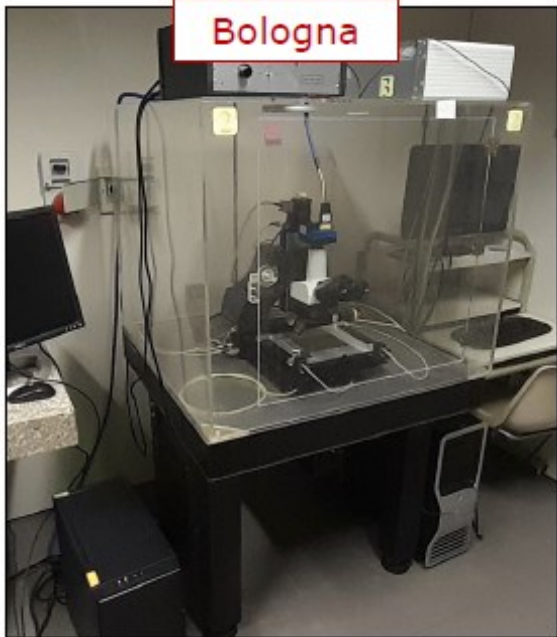
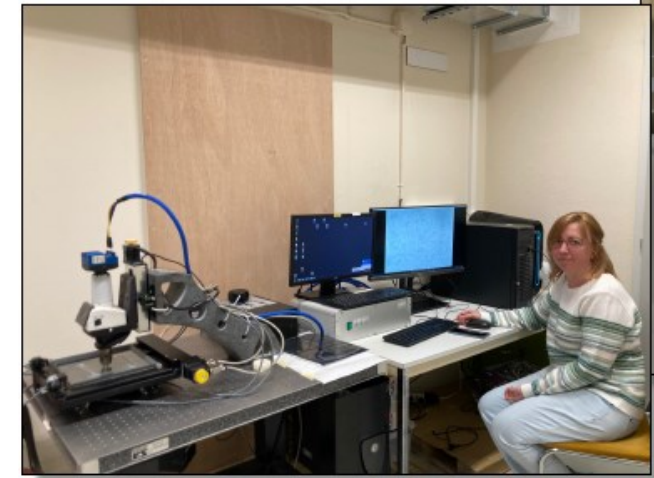
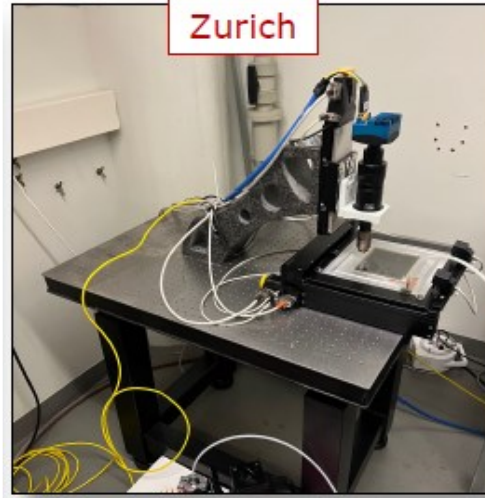
Цели: отслеживание и идентификация мюонов, измерение энергии адронной струи



# Нейтринный детектор

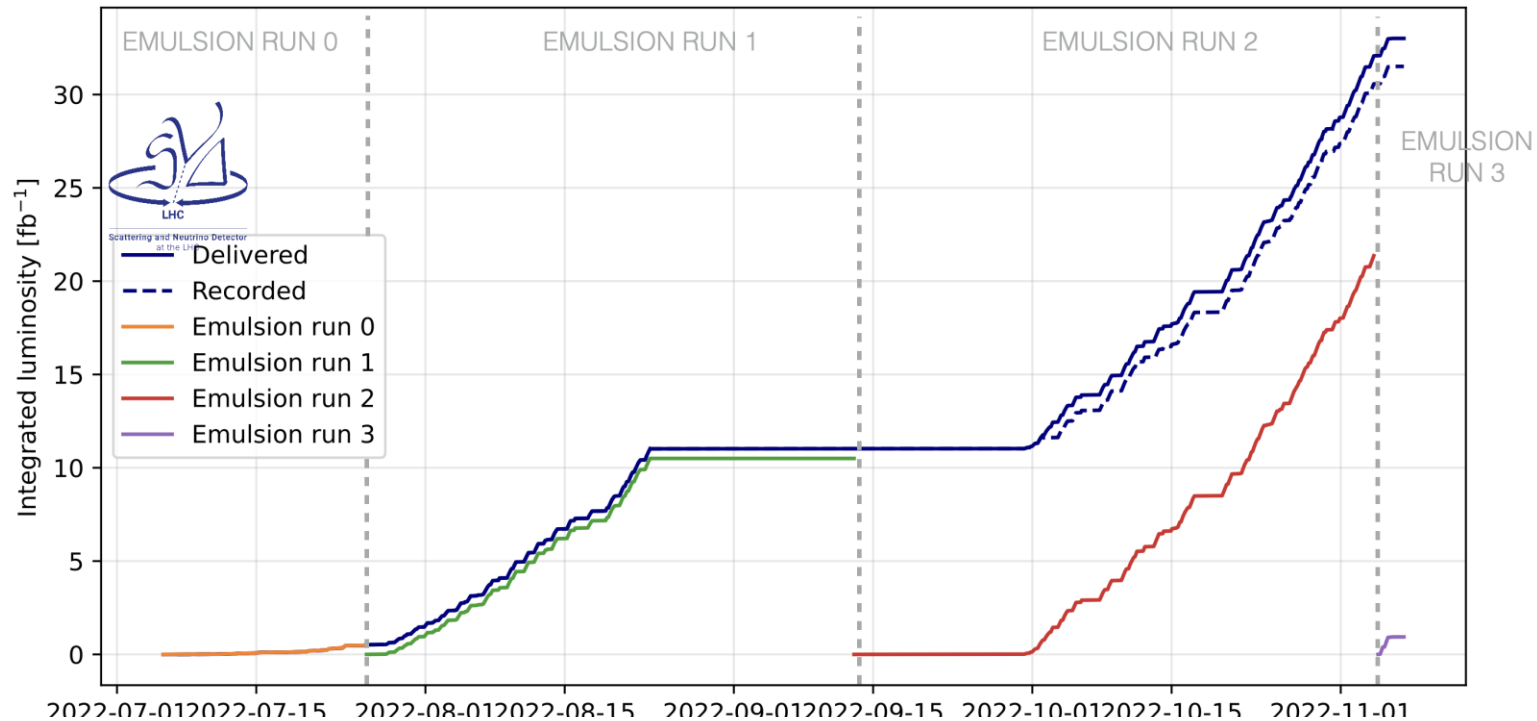
- Технология (ЕСС): эмульсионные пленки чередуются с пассивными слоями высокой плотности.
- Каждая «стена» состоит из 4 «кирпичей».
  - Каждый «кирпич» состоит из 60 слоев эмульсии (0,3 мм) и 59 слоев вольфрама (1 мм) 17X0.
  - Чувствительный поперечный размер: 38,4 x 38,4 см<sup>2</sup>
- Общая масса мишени: 830 кг
- Окружен корпусом из акрила и борированного полиэтилена для защиты от нейтронов и контроля температуры (15°C) и относительной влажности (45 %).





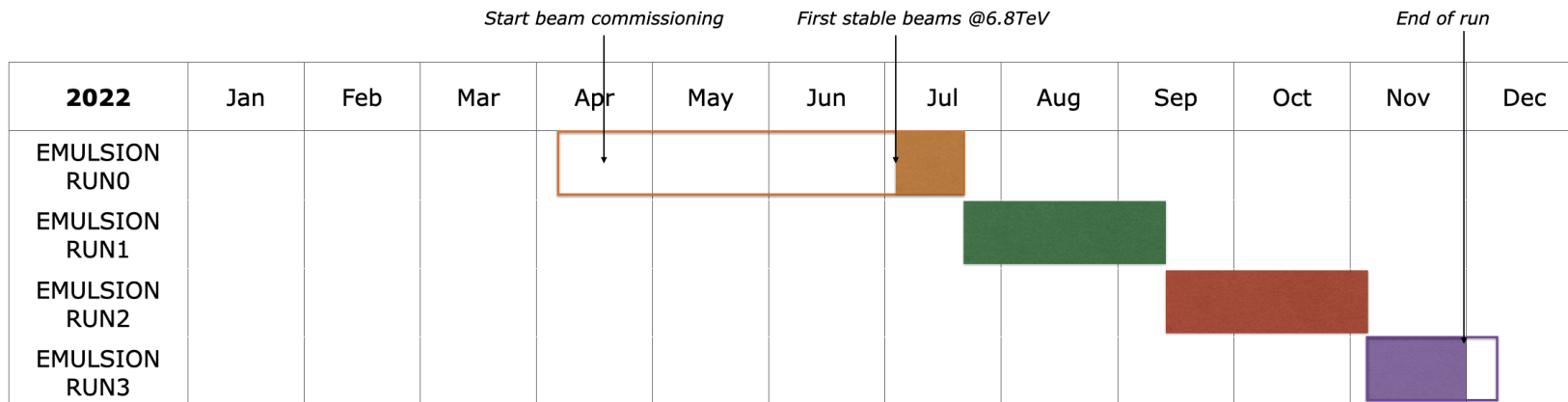
- Болонья: обновлена 1 система, требуется выполнить установку программного обеспечения
- ФИАН: 1 система обновлена, готова к сканированию, 1 система в процессе модернизации
- Цюрих: 1 система обновлена, готова к сканированию
- ЦЕРН: 1 система, модернизирована, готова к сканированию
- Неаполь: 2 системы обновлены, готовы к сканированию

# ЭМУЛЬСИОННАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ



**3522**  
ЭМУЛЬСИИ

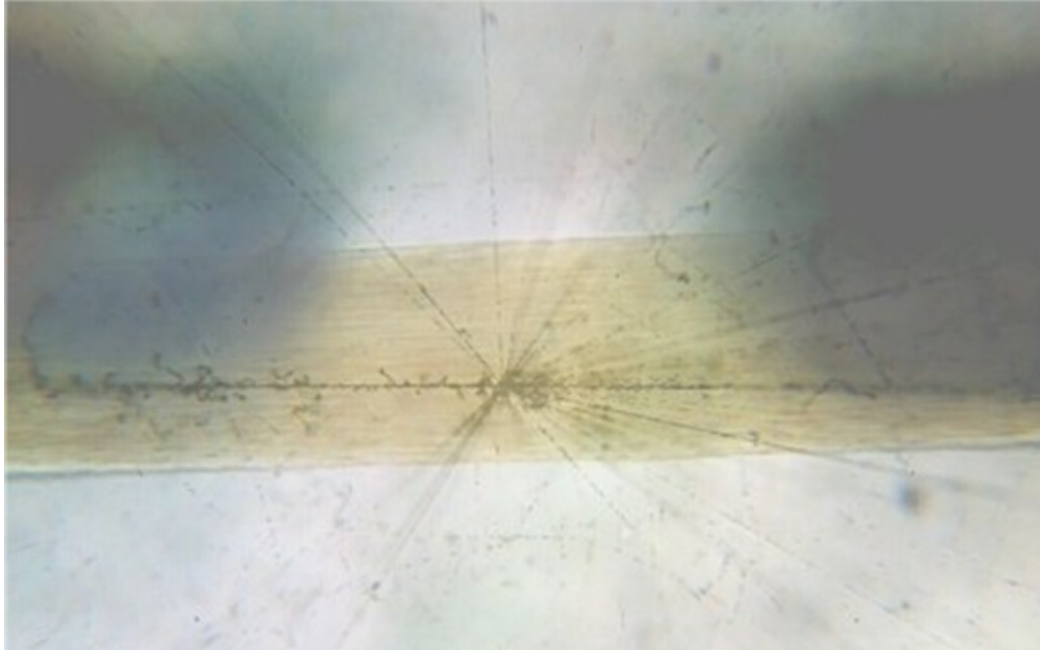
**130M<sup>2</sup>**



INTEGRATED LUMINOSITY
0.5 fb <sup>-1</sup>
10.5 fb <sup>-1</sup>
21.4 fb <sup>-1</sup>
running



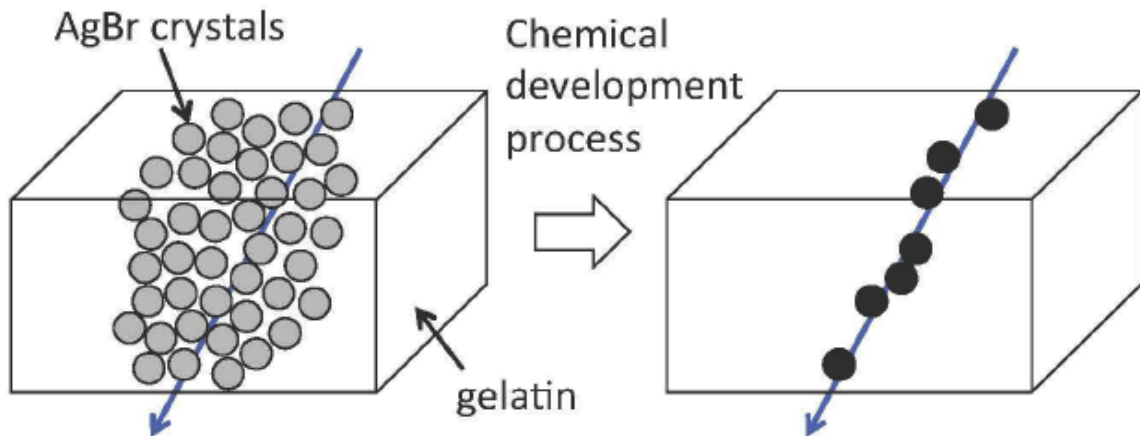
# Ядерная фотоэмульсия



Совмещенные в одном масштабе фотографии взаимодействия релятивистского ядра серы в ядерной эмульсии и человеческого волоса толщиной 60 мкм, полученные с помощью микроскопа и цифровой фотокамеры.

## Главные отличия ядерной от обычной фотографической эмульсии

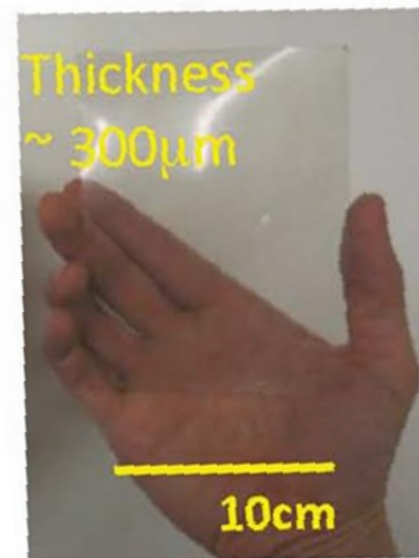
- Соотношение галогенида серебра и желатина в ядерных эмульсиях до десяти раз больше (более высокая чувствительность)
- Ядерная эмульсия обычно в 10-100 раз толще (трехмерная реконструкция)
- Проявленные серебряные зерна меньше и более однородны



# Преимущества ядерной фотоэмульсии

- Высокое пространственное разрешение ( $\sim 1$  мкм)
- Высокая эффективность формирования следов заряженных частиц (30 - 40 зерен на 100 мкм)
- Позволяет определить энергию, заряд, массу и импульс частицы
- Можно поместить в магнитное поле
- Возможность проведения экспозиции в отсутствие экспериментатора, надежность, отсутствие необходимости в энергоснабжении, малые габариты и вес
- Возможность длительного накопления редких событий
- Простота, низкая стоимость и наглядность

Название	Пространственное разрешение, мкм	Временное разрешение	Время восстановления
Ядерная фотоэмульсия	1	—	—
Камера Вильсона	1000	10 мс	10 с
Пузырьковая камера	10 – 150	10 мкс	50 мс
Искровая камера	100	1 мкс	1 мс
Пропорциональная камера	50 – 300	2 нс	200 нс
Стримерная камера	300	2 мкс	100 мс
Дрейфовая камера	50 – 300	2 нс	100 нс
Полупроводниковый детектор	2	10 нс	10 нс
Сцинтилляционные (черенковские) волоконно-оптические детекторы	20 – 30	1 – 10 нс	1 – 10 нс



# Автоматическое сканирование ядерных эмульсий

1980 – Первое полуавтоматическое сканирование (Нагойя)

1985 – “Track Selector” (TS) - первая система автоматического сканирования, основанная на томографической обработке изображений. Запущена линия разработки TS-NTS-UTS-SUTS (Нагоя)

1994 – Анализ данных CHORUS – Naples group начинает сканирование: в Неаполе установлены два микроскопа, оснащенных системами NTS

2004 – первый прототип европейской сканирующей системы (ESS), предназначенной для сканирования OPERA, работающей в Неаполе, разработан в сотрудничестве с другими итальянскими группами.

В 2000 году первый в России автоматизированный микроскоп был создан в Физическом институте им. П.Н.Лебедева группой PAVICOM

JINST 5, P04011 (2010)



Nucl. Instrum. Methods A568 (2006) 578

Methods for Image Recognition of Charged Particle Tracks in Track Detector Data Automated Processing, Astrophysics, InTech. (2012)



PAVICOM-1



PAVICOM-2





# Компоненты автоматической сканирующей станции

Optical microscope

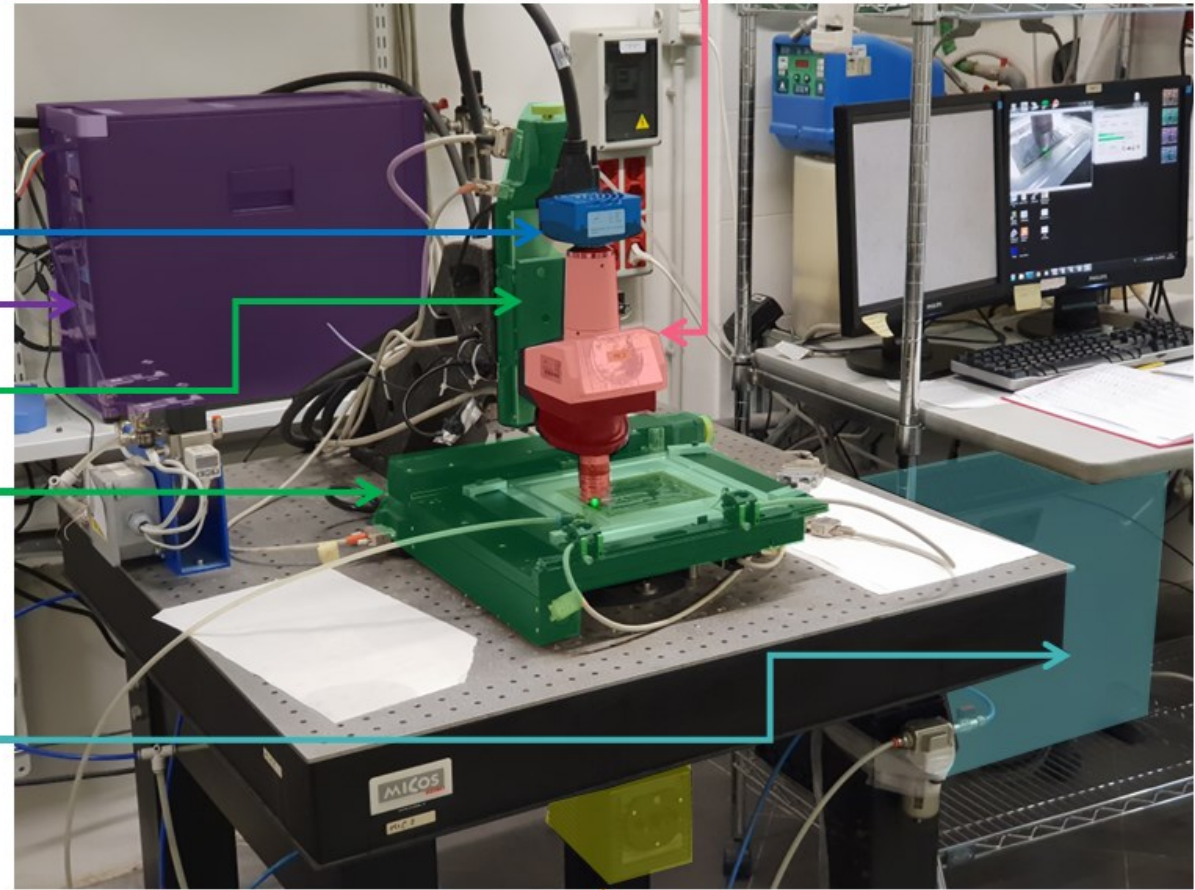
Illumination system

Image acquisition system

Motorized stages

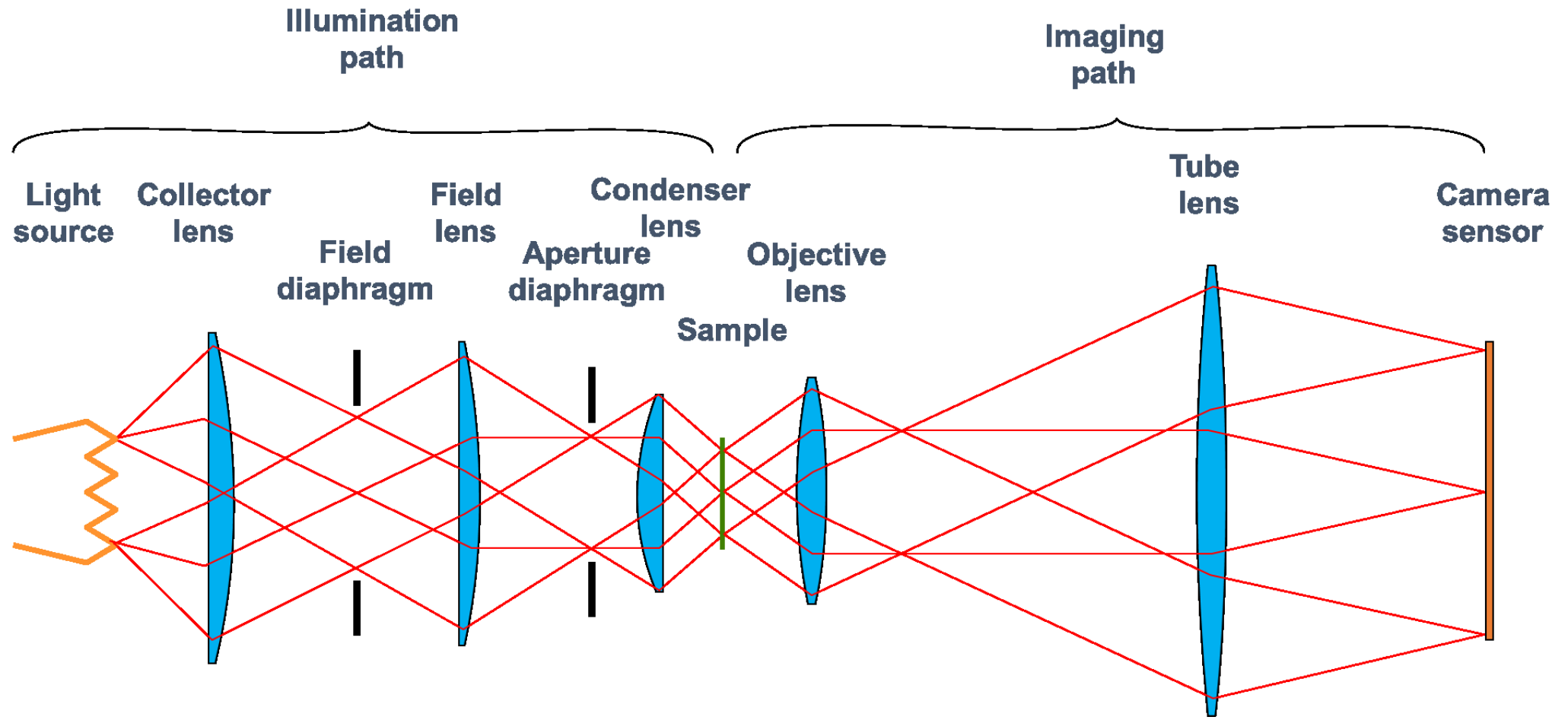
Control computer + SW

Processing computer(s) + SW



# Визуализация

Компоненты автоматической сканирующей станции



# Получение изображения

Компоненты автоматической сканирующей станции

## Высокоскоростная видеокамера:

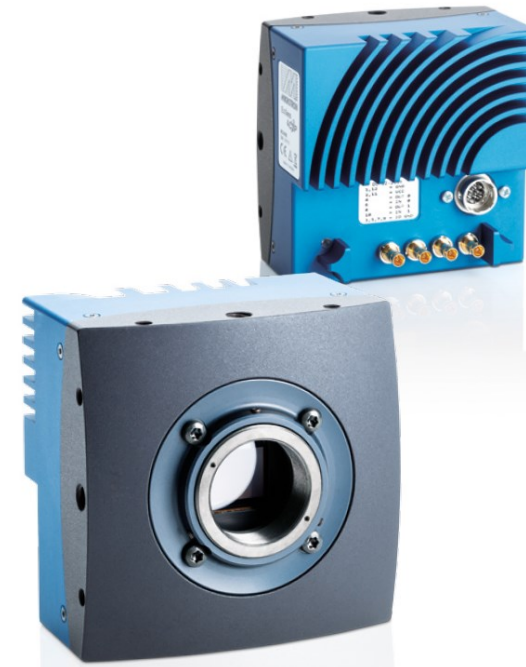
Mikrotron EoSens 4CXP

Разрешение: 2336 x 1728 пикселей

Частота кадров: 563 кадра в секунду

Размер сенсора: 16,35 x 12,10 мм

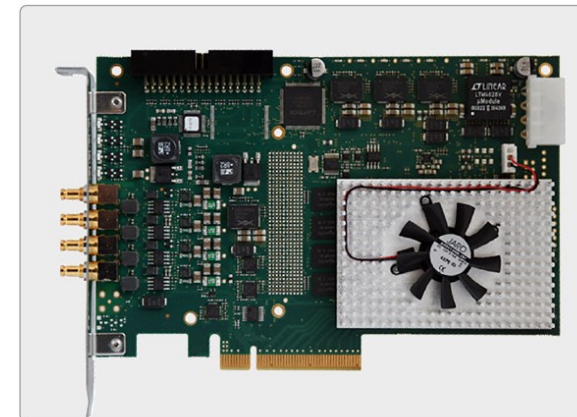
Размер пикселя: 7 x 7 мкм



## Framegrabber :

SiliconSoftware mE5-AQ8CXP6D

Поддерживает самые быстрые камеры CXP с пропускной способностью 3,6 Гб/с для передачи данных PCIe (PCIe x8 Gen2)





# Моторизированный столик

Компоненты автоматической сканирующей станции

## Горизонтальное (XY) перемещение:

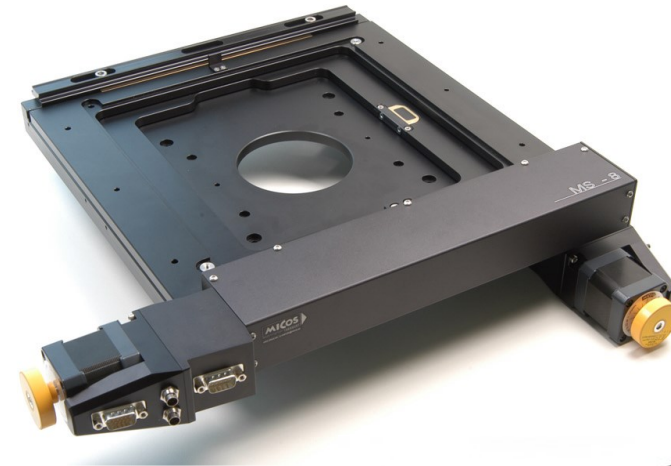
MICOS MS-8

Диапазон перемещения: 205 x 205 мм

Точность: 0,5 мкм

Максимальная скорость: 30 мм/с

Максимальное ускорение: 300 мм/с<sup>2</sup>



## Вертикальное (Z) перемещение:

MICOS LS-110

Диапазон перемещения: 50 мм

Точность: 0,5 мкм

Максимальная скорость: 30 мм/с

Максимальное ускорение: 300 мм/с<sup>2</sup>

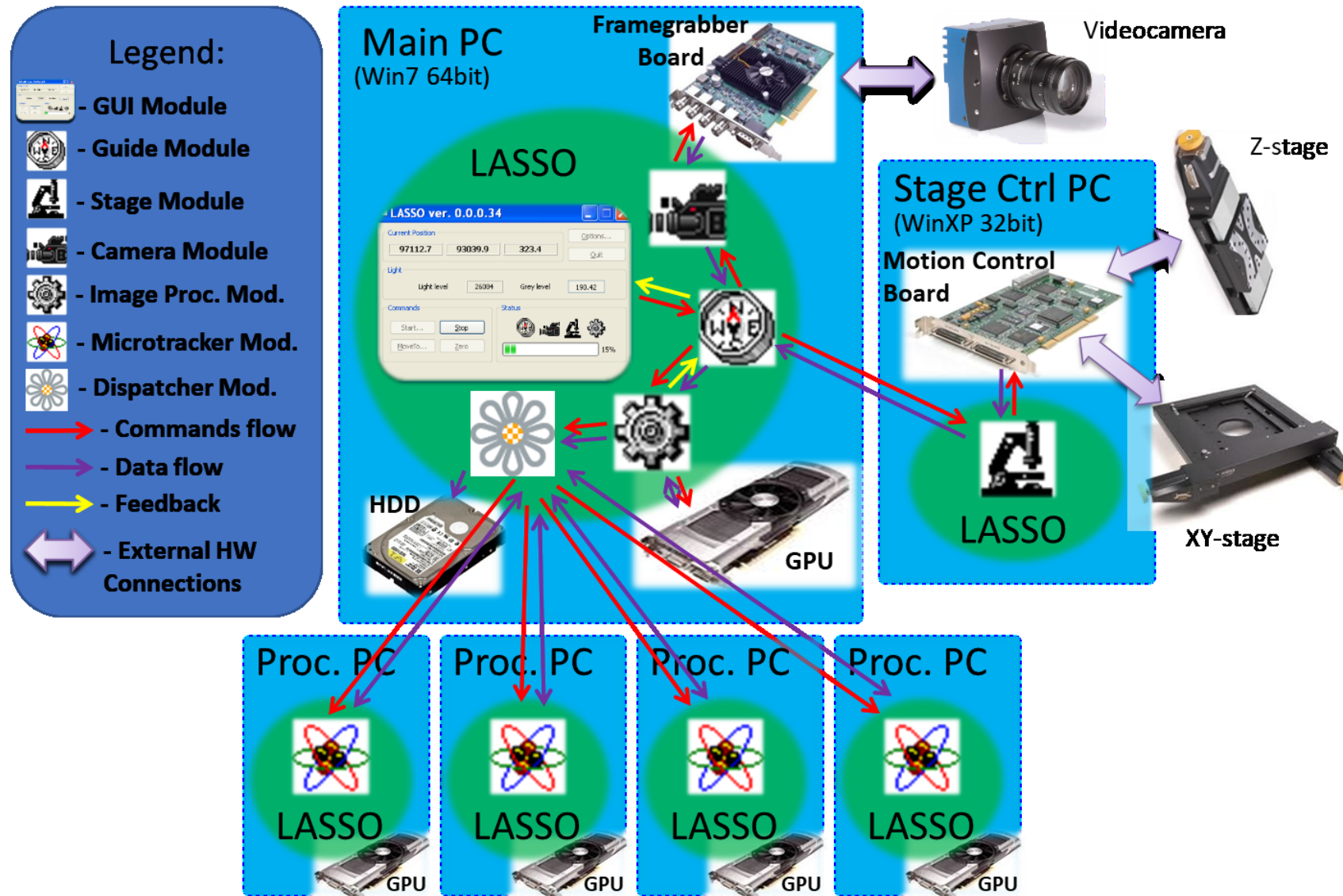


## Плата контроллера движения:

Встроенная программируемая ПЛИС National Instruments PCI-7344

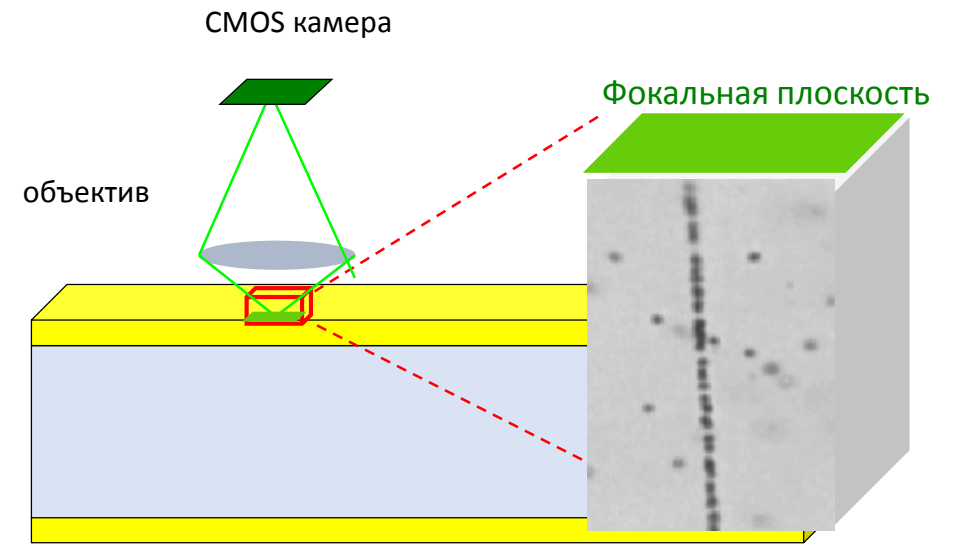


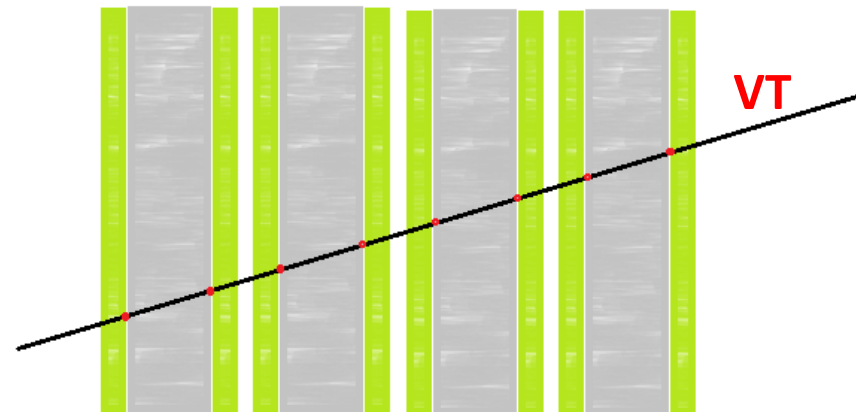
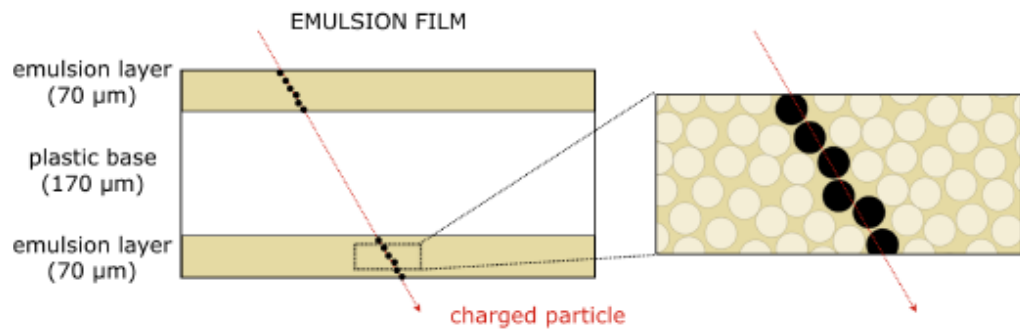
# Программное обеспечение



# Сканирование эмульсии

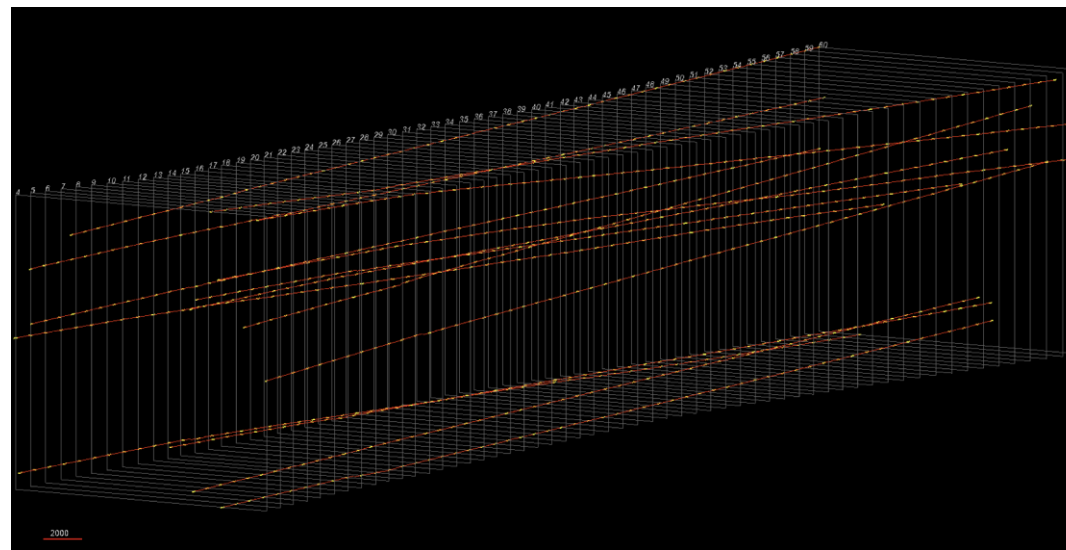
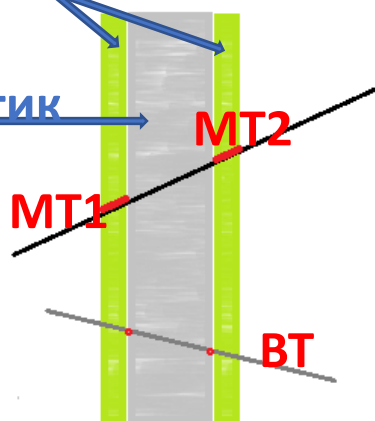
- Вертикальная ступень начинает двигаться до тех пор, пока не достигнет требуемой скорости
- Томографические изображения, полученные через слой эмульсии с равными шагами
- Изображения немедленно отправляются на управляющий компьютер для обработки
- Вертикальная ступень замедляется до полной остановки
- Объектив перемещается в начало следующего поля обзора





Эмульсионный слой

Пластик



Микротрек (MT) – трек, проходящий через одну сторону двустороннего эмульсионного слоя.

Бэйз-трек (BT) – трек, проходящий через обе стороны двустороннего эмульсионного слоя, реконструированный из двух MT.

Вольюм-трек (VT) - трек, проходящий через несколько эмульсионных слоев, реконструированный из нескольких BT.



# PAVICOM-1

Scanning area  
**500x800mm**

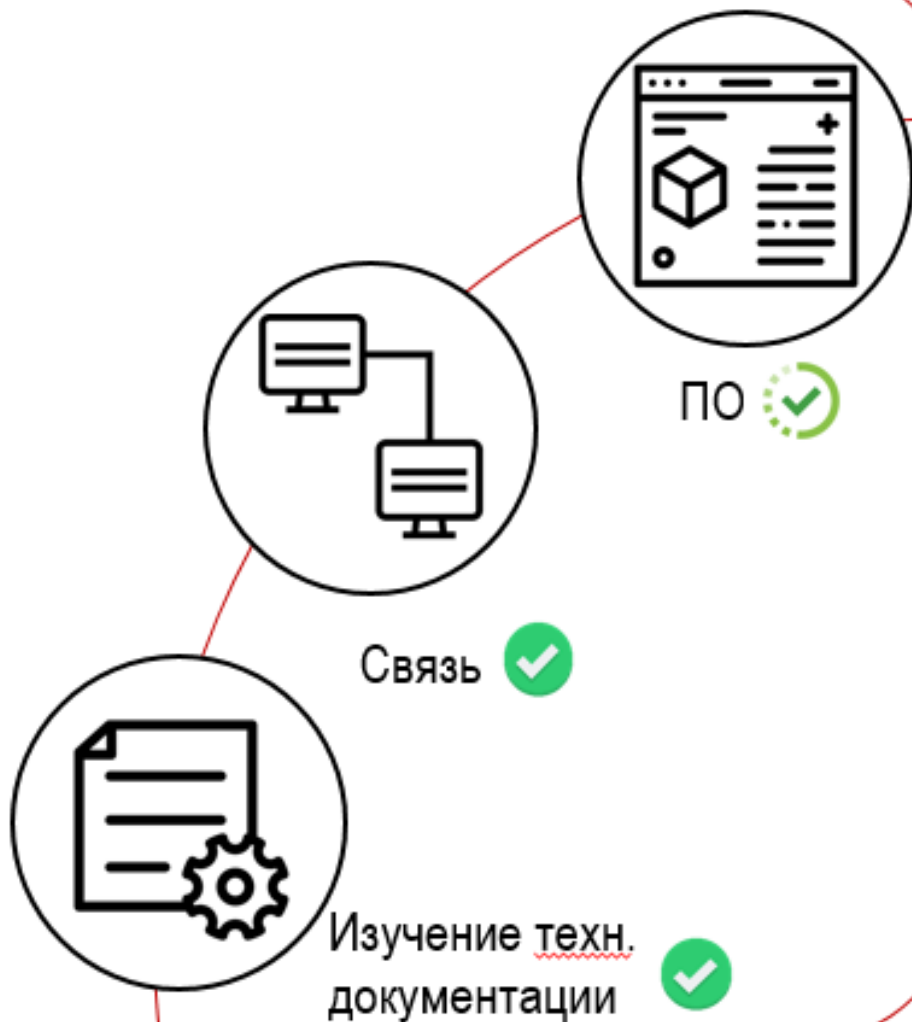
Positioning accuracy  
**0,5  $\mu\text{m}$**

Weight  
**> 1 ton**

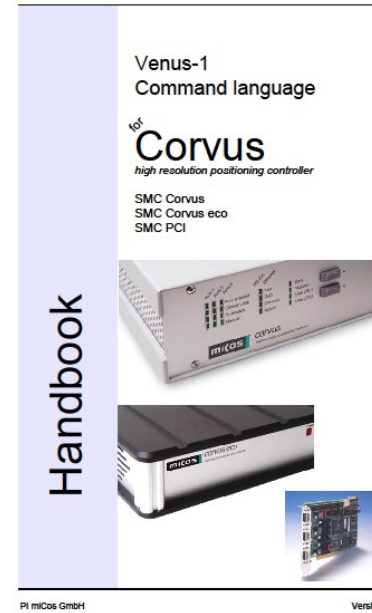
Mikrotron EoSens 4CXP C-mount  
**2336 × 1728 pixels**

Nikon CFI Plan Fluor 20X MI  
**20x magnification**

# PAVICOM-1



1. FlexStage::GetLightParam() const
2. FlexStage::GetParams() const
3. FlexStage::SetParams(const PAVParams& pars\_)
4. FlexStage::IsConnected() const
5. FlexStage::Initialize()
6. FlexStage::Finalize()
7. FlexStage::SetVel(int axis\_, double vel\_)
8. FlexStage::SetAccel(const PAVVector& acc\_)
9. FlexStage::SetDecel(const PAVVector& dec\_)
10. FlexStage::Zero(uint axisFl\_)
11. FlexStage::Stop()
12. FlexStage::QueryPos(int axis\_)
13. FlexStage::MoveTo(const PAVVector& vec\_, bool hist\_)
14. FlexStage::CalcMoveTime(const PAVStageMoveParams& pars\_, const PAVVector3D& pos\_, double\* atime\_)
15. FlexStage::MoveStage(const PAVStageMoveParams& pars\_, bool hist\_)
16. FlexStage::MoveStage2(const PAVStageMoveParams& pars0\_, const PAVStageMoveParams& pars1\_)
17. FlexStage::CustomMove(const char\* params\_, StCtrlCall ctrlCall\_, void\* ctrlPar\_)
18. FlexStage::StartMove(int axis\_, float vel\_)
19. FlexStage::StopMove(int axis\_)
20. FlexStage::StartPeriodicMove(const PAVStagePeriodicMoveParams& pars\_)
21. FlexStage::StopPeriodicMove(int axis\_)
22. FlexStage::SetLightLevel(int lvl\_)
23. FlexStage::LightOn()
24. FlexStage::Lightoff()
25. FlexStage::LightIsOn() const



4. FlexStage::IsConnected()const

5. FlexStage::Initialize()

6. FlexStage::Finalize()

7. FlexStage::SetVel(int axis\_,double vel\_)

8. FlexStage::SetAccel(const PAVVector& acc\_)

9. FlexStage::SetDecel(const PAVVector& dec\_)

11.FlexStage::Stop()

13.FlexStage::MoveTo(const PAVVector& vec\_,bool hist\_)

15.FlexStage::MoveStage(const PAVStageMoveParams& pars\_,bool hist\_)

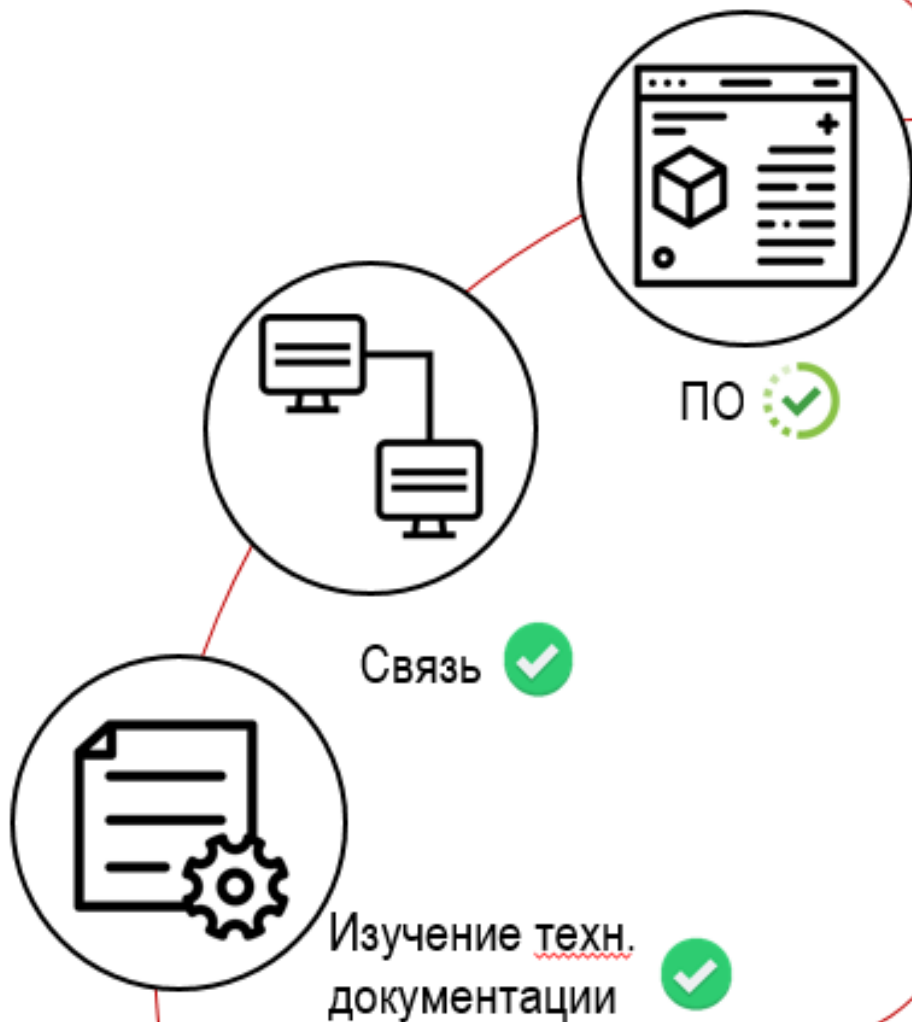
16.FlexStage::MoveStage2(const PAVStageMoveParams& pars0\_,const PAVStageMoveParams& pars1\_)

18.FlexStage::StartMove(int axis\_, float vel\_)

19.FlexStage::StopMove(int axis\_)



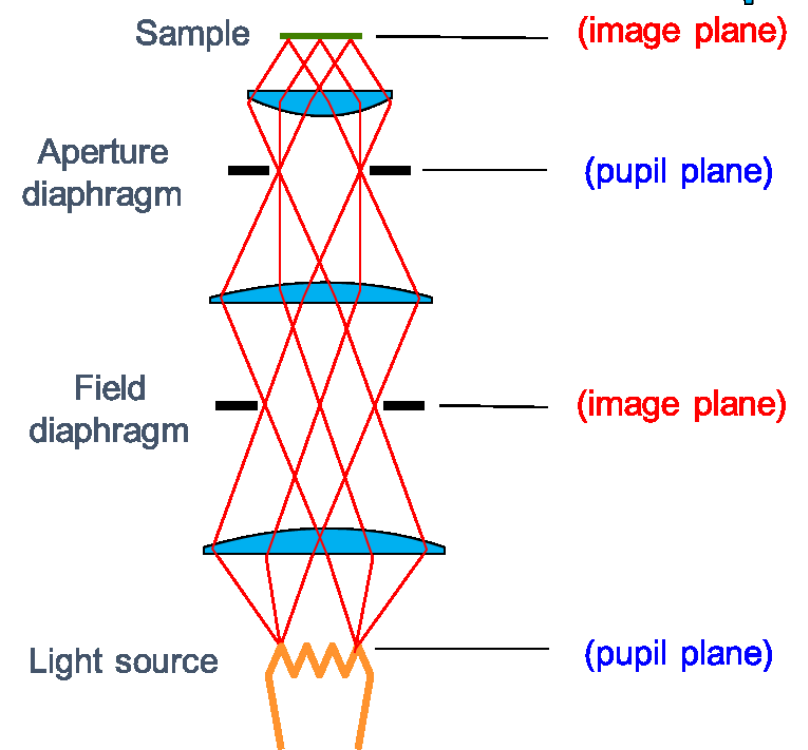
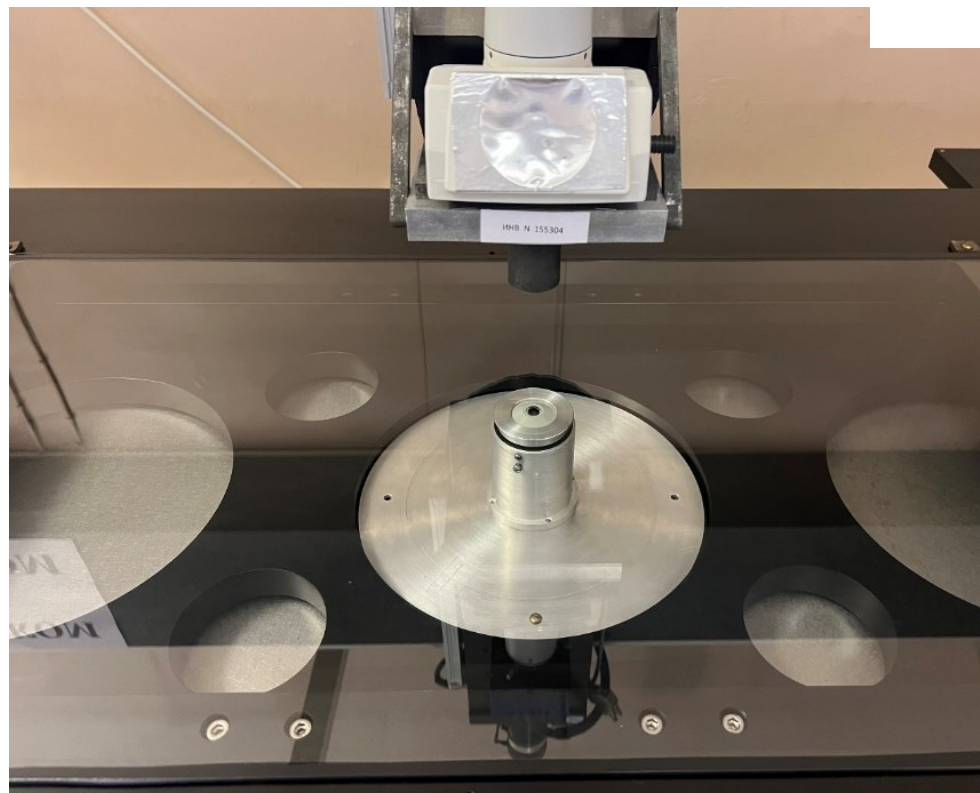
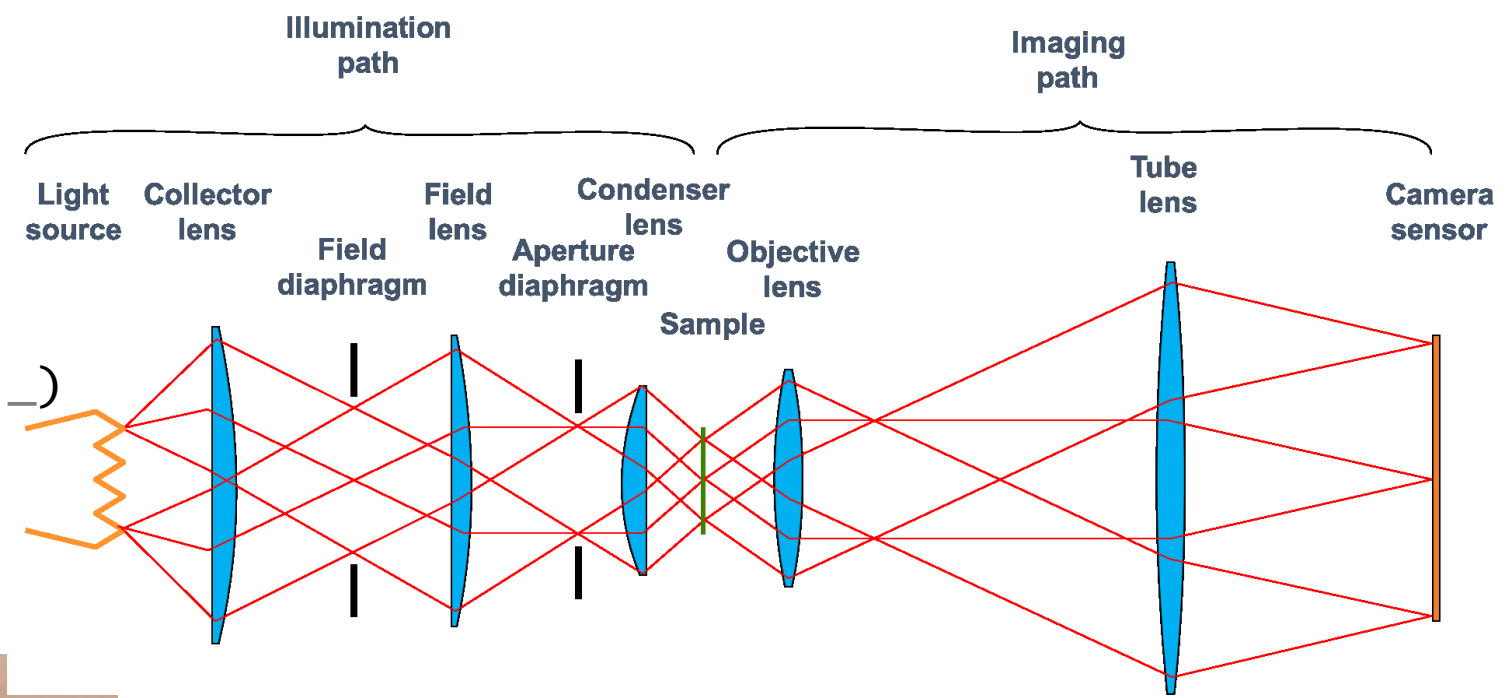
# PAVICOM-1



```
1. FlexStage::Zero(uint axisFl_)
```

# Система подсветки

1. FlexStage::SetLightLevel(int lvl\_)
2. FlexStage::LightOn()
3. FlexStage::LightOff()
4. FlexStage::LightIsOn() const



# Motion Controller

G-900K044



- **Travel**  
X, Y: 0 - 305 mm  
Z: 0-52 mm
- **Motor**  
X, Y: Ironless 3 Phase linear  
Z: Stepper Motor 1.8° / full step
- **Max. Velocity**  
X, Y: 1000 mm/s  
Z: 20 mm/s
- **Max Acceleration**  
X, Y: 1000 mm/s<sup>2</sup>  
Z: 20 mm/s<sup>2</sup>



# Заключение

В ФИАН осуществляется модернизация микроскопа ПАВИКОМ-1.

- Система освещения (закуплена, необходима установка, интеграция в программный код).
- Система получения изображений (закуплена, установлена, интегрировано в программный код).
- Система движением столика (установлена, необходима интеграция лимит свичей, необходима интеграция в программный код, необходим ремонт двигателя вертикальной оси).
- Управляющий компьютер (закуплен, интегрирован в программный код).
- Обработывающий компьютер (закуплен, интегрирован в программный код).