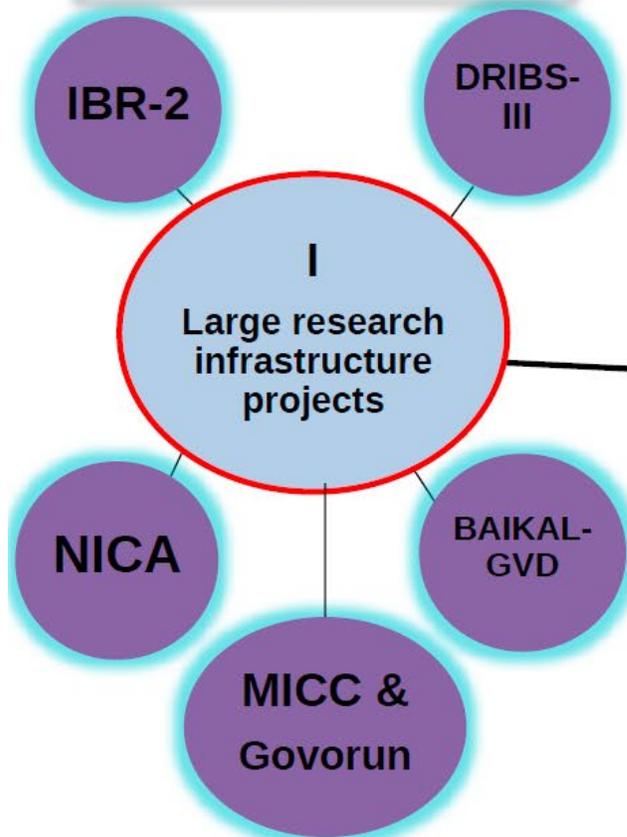


# TOPICAL PLAN for JINR Research and International Cooperation Structure

## Section I include:

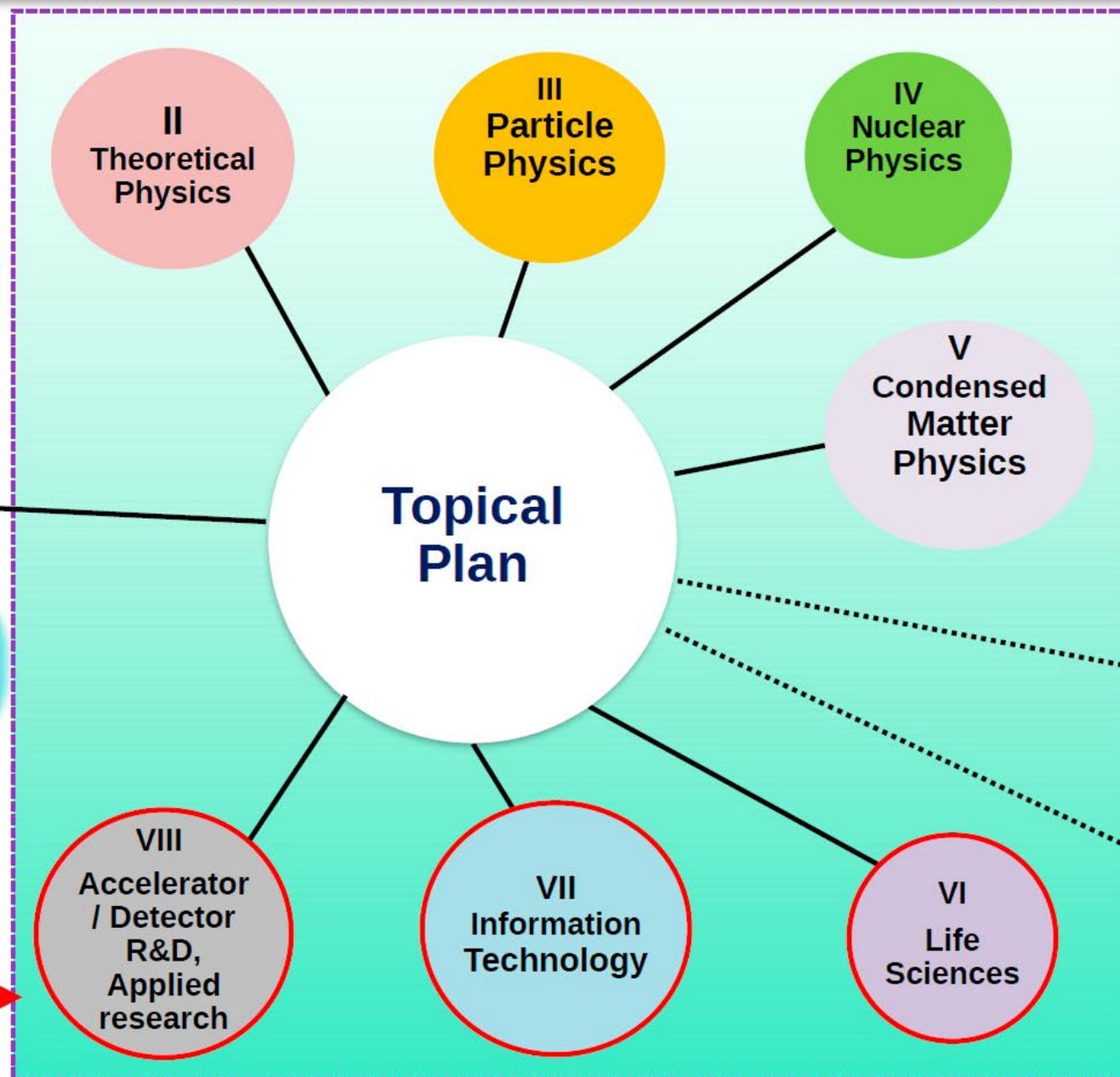
- projects
- subprojects (optional)
- activities (optional)



Human and financial resources – also Projects

- ## Sections II-X include:
- Themes
  - Projects
  - subprojects (optional)
  - activities (optional)

Section VIII include R&D:  
Detectors and accelerators



SCIENTIFIC DIRECTIONS

IX  
Analytical and Methodological Problems of Scientific Research Organization

X  
Educational Programme

## VIII Accelerator/Detector R&D, Applied research

### Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems

## Status and prospects of the DLNP theme 1126 for 2024 - 2030

**Development of Scientific DLNP Infrastructure for  
Research Using Semiconductor Detectors, Laser  
Metrology, Electrons, Positrons and Cryogenic  
Technology 04-2-1126-2015/2023**

## Development of Scientific DLNP Infrastructure for Research Using Semiconductor Detectors, Laser Metrology, Electrons, Positrons and Cryogenic Technology 04-2-1126-2015/2023

Construction of the setup for measurements with electron testbeams in DLNP (LINAC-200)

Project "Precision laser metrology for accelerators and detector complexes"

Project "Development of experimental techniques and applied research with slow monochromatic positron beams (PAS)"

Project "Novel semiconductor detectors for fundamental and applied research"

"GDH & SPASCHARM" Project

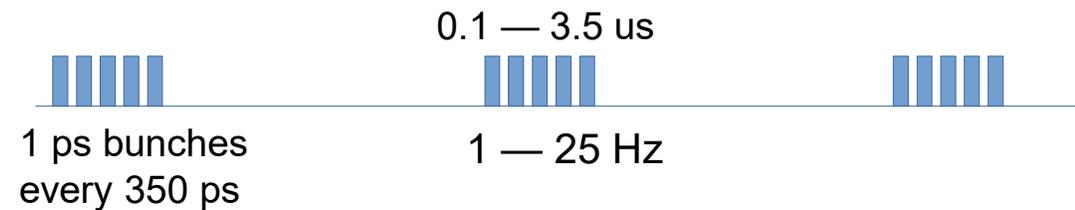


# Linear electron accelerator LINAC200 - a new research facility of DLNP JINR



# The machine

- Based on refurbished 800 MeV MEA (NIKHEF)
- LINAC200 = Injector, buncher and 4 (of 12) accelerating stations
- Two beam lines are available
  - 20 MeV (after the 1st station)
  - 20 – 200 MeV (after the 4th station).
- The beam energy spread is about 1%
- The beam current in a pulse can be set in the range from practically zero values (single electrons in a bunch) to 80 mA (up to  $10^{14}$  e<sup>-</sup> / s)
- The maximum average current is 2.5  $\mu$ A.



# Timeline

- Renovation of Bldg. 118 is complete
- LINAC200 commissioning is under way and expected to be completed by summer 2023
- The machine will continuously operate in 2024 - 2030
- Three projects are in preparation:
  - ❖ Testzone for detector R&D and applied studies
  - ❖ Controllable generation of EM radiation by relativistic electrons using functional materials
  - ❖ Electron radiography

# Controllable generation of EM radiation by relativistic electrons using functional materials

**Goal:** study of the basics of electromagnetic interactions and new applications of controllable generation of electromagnetic radiation by relativistic electrons using functional materials

- Study of relaxation of EM response of materials based on topological insulators and Dirac semimetals with super-high electron mobility excited by bunched electron beam
- Explore the possibility of control of phonon response of metamaterials excited by bunched electron beams
- Investigation of polarization radiation generation by electron beam on surface structures with high local electron density
- Generation of intense ultra-monochromatic THz and sub-THz radiation. Construction of the THz radiation source for radiobiological research
- Application to the accelerator diagnostics R&D

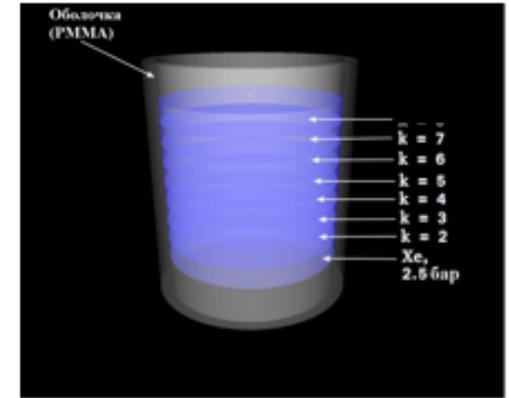
**FLAP**  
**Collaboration**



# Electron radiography

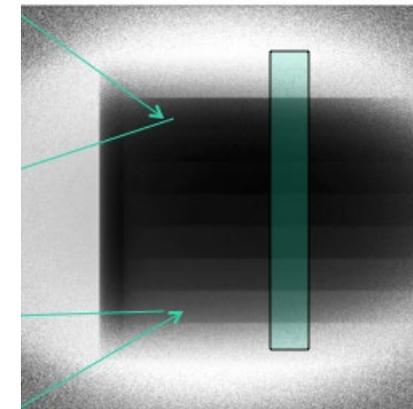
**Goal:** Implementation of electron radiography technique, construction of the electron microscope with an energy of 200 MeV to measure the density distribution in dynamic and static objects with a linear density of up to 10 g/cm<sup>2</sup>.

- Two radiography setups
  - Fast processes, FOV 20 mm and resolution 100  $\mu$ m
  - Static objects, FOV 10 mm and resolution 10  $\mu$ m
- Development of reconstruction methods and software
- Study of dynamic processes in porous materials and non-ideal plasma of shock-compressed inert gases
- Development of new structural materials
- Flaw detection research.



National Research Center  
"Kurchatov Institute"

Institute for Problems of Chemical Physics RAS

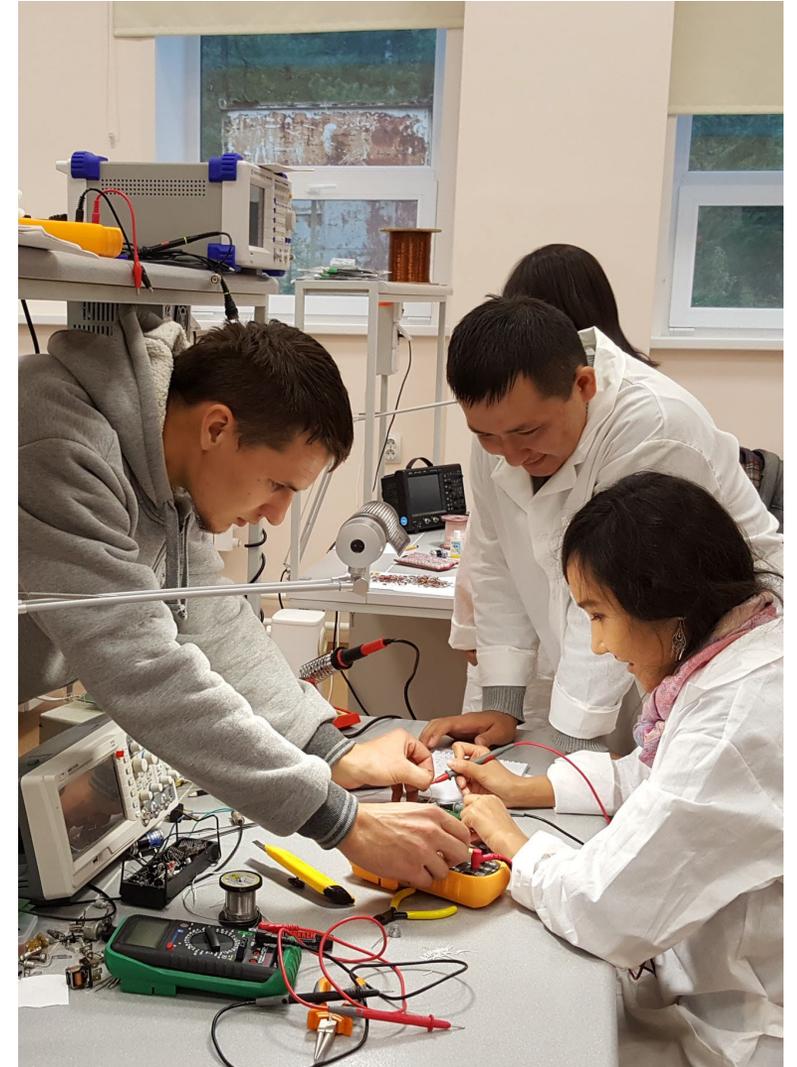


# Education & training

**LINAC200 is an excellent place to train young scientists and engineers:**

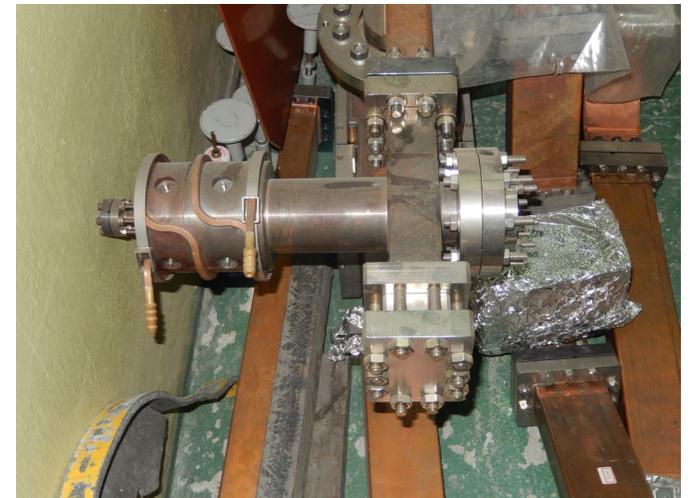
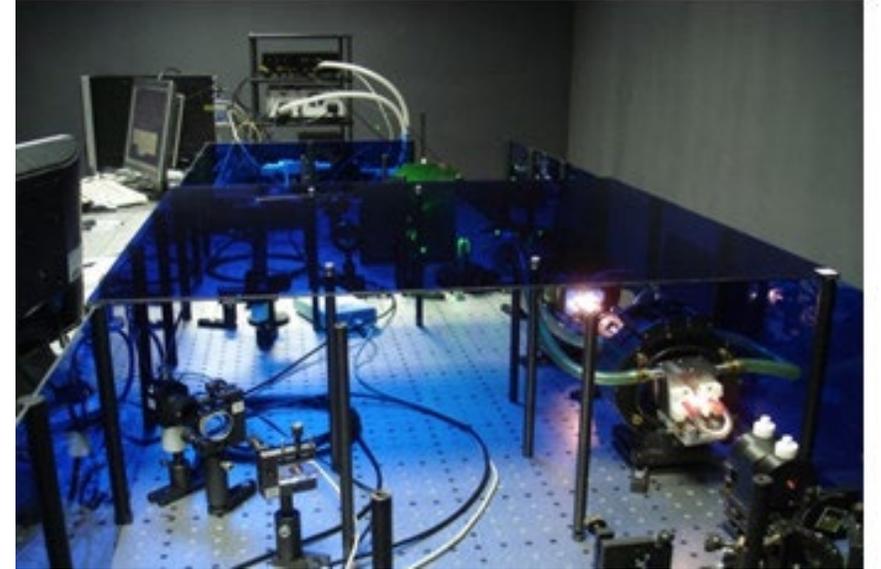
- Accelerator physics and technology
- Particle detector characterization
- Toy experiments (e.g. measurement of nuclear form factors and GDR)
- Radiation material science, generation and registration of synchrotron and THz radiation, etc

**Work together with the University Center**



# Accelerator R&D and upgrade plan

- Design and construction of the photoinjector
  - Possible replacement of the electron gun
  - R&D on generation of twisted electrons (together with ITMO)
- Preparation of LINAC200 upgrade up to 800 MeV
  - Refurbishing old MEA parts
  - Upgrade of control and vacuum system



# Thanks for participating in the commissioning LINAC200 RUN

TOMSK  
POLYTECHNIC  
UNIVERSITY

ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
«National Research Tomsk Polytechnic University» (FPIU)  
30, Lenina ave., Tomsk, 634050, Russia  
Tel.: +7-3822-606333, +7-3822-701779  
Fax: +7-3822-606444, e-mail: trp@trn.ru, trp@tpu.ru  
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations): 02069903  
Company Number: 02700890168  
VAT/KPP (Code of Reason for Registration): 7018007264/70170001, ОКН 016902004

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет» (ТПУ)  
Ленина, пр. д. 30, г. Томск, 634050, Россия  
тел.: +7-3822-606333, +7-3822-701779  
факс: +7-3822-606444, e-mail: trp@trn.ru, trp@tpu.ru  
ИНН/КПП 7018007264/70170001, ОКН 016902004

08.11.2022 № 01/2309  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
О проведении исследований

Директору Объединенного  
института ядерных исследований  
Академику

Трубкинову Г.В.  
141980 Московская обл., г. Дубна,  
ул. Жолио-Кюри, д.6

Уважаемый Григорий Владимирович!

В период с 10 по 15 октября физики нашего университета провели тестовый сеанс по калибровке диагностической аппаратуры на пучке электронов ускорителя ЛИНАК 200 в рамках коллаборации FLAP (координатор – д.ф.-м.н. А.А. Балдин). От имени ТПУ выражаю признательность коллективу ускорителя ЛИНАК 200 (рук. – В.В. Кобец) за возможность выполнения калибровочных измерений при проведении пусконаладочных работ на ускорителе. Разрабатываемое диагностическое оборудование планируется использовать для мониторингирования параметров выведенного пучка нуклотрона, а также пучков коллайдера NICA.

Надеюсь на успешное продолжение экспериментальных исследований и развитие сотрудничества с ОИЯИ, в том числе, при подготовке специалистов-физиков.

Ректор

Д.А. Седнев

Сухих Л.Г.  
+7 (3822) 70-17-77  
Sukhikh@tpu.ru

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НИУ «БелГУ»)

БелГУ  
НИУ  
БелГУ  
BELGOROD STATE  
UNIVERSITY (BSU)

Победы ул., д. 85, г. Белгород, 308015; e-mail: info@bsu.edu.ru,  
тел.: (4722) 30-12-11, факс 30-10-12, Web: http://www.bsu.edu.ru  
ОКПО 02079230, ОГРН 1023101664519, ИНН/КПП 3123035312/312301001

16.11.2022 № 0-2459  
№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Директору Объединенного  
института ядерных исследований  
Трубкинову Г.В.

Глубокоуважаемый Григорий Владимирович!

НИУ БелГУ принял участие в пуско-наладочных работах с пучками ускоренных электронов линейного ускорителя LINAC-200 Объединенного института ядерных исследований.

Благодарим координатора коллаборации FLAP Антона Александровича Балдина и руководителя запуском ускорителя LINAC-200 Валерия Васильевича Кобца за предоставленную уникальную возможность принять участие в работах по пусконаладочных работах.

НИУ «БелГУ» выражает заинтересованность в дальнейшем проведении совместных исследований в рамках деятельности научно-исследовательской коллаборации FLAP. В рамках коллаборации FLAP успешно проведены первые пробные измерения. Линейный ускоритель электронов LINAC-200 уникален по своим характеристикам. Тематика проводимых исследований является одним из приоритетных направлений развития нашего университета. Мы готовы осуществить интеллектуальный и материально-технический вклад в развитие данного направления экспериментальных исследований в виде разработки и создания научно-исследовательских станций для изучения механизмов формирования электромагнитного излучения пучками ускоренных электронов. Наша деятельность также нацелена на разработку и испытание новых неинвазивных методов мониторингирования пучков, которые будут использоваться на ускорительном комплексе NICA.

Проректор по науке и инновациям



Репников Н.И.

Кубанкин А.С.



РФЯЦ-ВНИИЭФ  
РОСАТОМ

Федеральное государственное  
унитарное предприятие  
РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР  
Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
экспериментальной физики  
(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»)

пр. Мира, д.37,  
г. Саров, Нижегородская обл., 607188  
Факс: 83130 29494 E-mail: staff@vniief.ru  
Телетайп: 151535 «Мимоза»  
ОКПО 07623615, ОГРН 1025202199791  
ИНН 5254001230, КПП 525401001

27.10.2022 № 195-03/41923  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

О перспективе совместных работ

Уважаемый Григорий Владимирович!

Выражаем искреннюю благодарность дирекции и руководству ОИЯИ за оказанную поддержку первых (пробных) экспериментов с пучками ускорителя ЛИНАК-200 и за предоставленную возможность экспериментального тестирования методик нейтронных измерений в режиме пусконаладочных работ ускорителя.

Выполненные в 2022-м году измерения технических параметров нейтронного источника, получаемого при облучении разного типа конверторов электронным пучком ускорителя ЛИНАК-200 показали реальную перспективу разработки и создания калибровочного стенда для методик импульсных нейтронных измерений. Калибровка аппаратуры образцовым нейтронным излучением, которое можно получать с помощью ЛИНАК-200, востребована не только подразделениями ВНИИЭФ, но и другими организациями, в том числе, участниками коллаборации FLAP.

Отдельную благодарность хотелось бы выразить координатору работ А.А. Балдину и команде специалистов, обеспечивающих работу ускорителя во главе с В.В. Кобцем. Рассчитываем на дальнейшее плодотворное сотрудничество и достижение новых результатов мирового уровня.

И.о. директора ИФВ

А.О. Бликов

# Cost estimate (kUSD)

	2024	2025	2026	2027	2028			
LINAC200 maintenance & operation	150	150	150	150	150			

***РАЗВИТИЕ ТЕСТОВОЙ ЗОНЫ ДЛЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДЕТЕКТОРОВ НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ЛЯП***

**Проект в составе темы 1126**

**Срок выполнения: 2024-2026**

**Руководитель проекта**

***М.И. Госткин***

**Заместитель руководителя проекта**

***Абдельшакур Эль Саид Мохаммед Абу Эльазм***

**Цель проекта :** создание на основе линейного ускорителя электронов ЛИНАК-200 инфраструктуры для методических исследований на пучках электронов с энергией 20 МэВ и 200 МэВ. Предусматривается использование тестовой зоны на основе ЛИНАК-200 для изучения характеристик и калибровки детекторов элементарных частиц, проведения экспериментов по изучению фотоядерных реакций, для прикладных исследований (радиационное материаловедение, радиационная генетика и т.п.).

1. Исследование кремниевых пиксельных детекторов для вершинного трекера экспериментов MPD и SPD.
2. Калибровка модулей электромагнитного калориметра для эксперимента SPD.
3. Исследование характеристик детекторов для строу-трекера установки SPD.
2. Исследование характеристик (эффективность, пространственное разрешение, максимальная загрузка) газовых детекторов типа bulk Micromegas для экспериментов SPD и AMBER.
3. Калибровка детекторов для эксперимента COMET на пучках электронов низкой интенсивности с энергией до 100 МэВ .
4. Прикладные задачи (радиационное материаловедение, радиационная генетика).
5. Калибровка дозиметрических приборов в интересах СНИИП.

# Оборудование тестовой зоны

Два канала вывода пучка электронов ускорителя ЛИНАК-200:  
после 1 станции с энергией 10-25 МэВ, и после 4 станции с энергией 40-200 МэВ.

- Энергетический разброс - 1%.
- Фокусировка с размером фокусного пятна менее 1 мм, а
- Дефокусировки в области 20 см x 20 см,
- Интенсивность пучка - от единиц до  $10^{13}$  e /с

Оборудование тестовой зоны:

- На каждом канале: поворотный магнит, квадрупольные линзы для фокусировки пучка, горизонтальный и вертикальный коллиматоры.
- Аппаратура для контроля параметров пучка:
- калориметры на основе ВГО, пластиковых сцинтилляторов
- детекторы измерения профиля пучка,
- проволочные камеры,
- Система позиционирования исследуемых образцов в пучке

**Важной задачей при создании тестовой зоны является систематическое исследование характеристик выведенного пучка электронов и математическое моделирование для оптимизации условий измерений.**

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделение	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Госткин М.И.	ЛЯП	Нач. сектора	0.9
2.	научные работники	Абдельшакур Саид	ЛЯП	снс	0.9
3.	научные работники	Жемчугов А.С.	ЛЯП	Зам. Начальника НЭОВП	0.1
4.	научные работники	Кручонок В.Г.	ЛЯП	снс	0.8
5.	научные работники	Ноздрин А.А.	ЛЯП	снс	0.8
6.	научные работники	Демичев М.А.	ЛЯП	нс	1.0
7.	инженеры	Пороховой С.Ю.	ЛЯП	Ведущий инженер	1.0
8.	инженеры	Харченко Д.В.	ЛЯП	старший инженер	1.0
9.	инженеры	Демин Д.Л.	ЛЯП	главный инженер установки	0.2
10.	научные работники	Кобец В.В.	ЛФВЭ	Нач. сектора	0.1
11.	научные работники	С.В. Митрофанов	ЛЯР	Нач. группы	0.1
12.	научные работники	Ю.Г. Тетерев	ЛЯР	снс	0.2
	<b>Итого:</b>				<b>7.1</b>

## Бюджет проекта

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования	Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость распределение по годам				
		1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Материалы		20	20	20		
Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)		30	30	30		

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ / ПРОДЛЕНИЯ  
ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КРУПНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

**1.1. Шифр темы 04-2-1126**

**1.2. Шифр проекта**

**1.2. Лаборатория ЛЯП**

**1.3. Научное направление:** Ускоритель/детектор, НИР и прикладные исследования (VIII)

**1.4. Наименование проекта:** «Прецизионная Лазерная Метрология для Ускорителей и Детекторных Комплексов»

**1.5. Руководители проекта В.В. Глаголев М.В. Ляблин**

**1.6. Заместитель(и) руководителя темы / КИП**

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

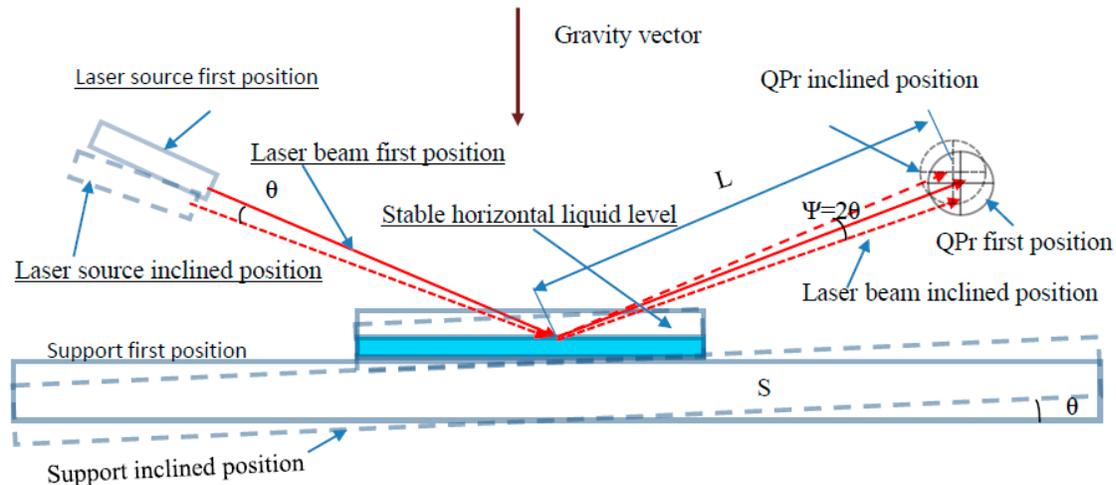
Реализация проекта направлена на определение угловых колебаний элементов коллайдеров (в частности NICA) от микросейсмических шумов индустриального и природного происхождения с целью их компенсации для повышения светимости коллайдеров.

Не менее важной составляющей проекта являются работы по созданию компактного инклинометра, способного измерять изменения углов наклона поверхности с точностью порядка  $10^{-8}$  радиан на протяжении года. И, далее, построение сети из таких инклинометров в сейсмоопасных регионах для определения зон накопления энергии и потенциально сейсмоопасных областей.

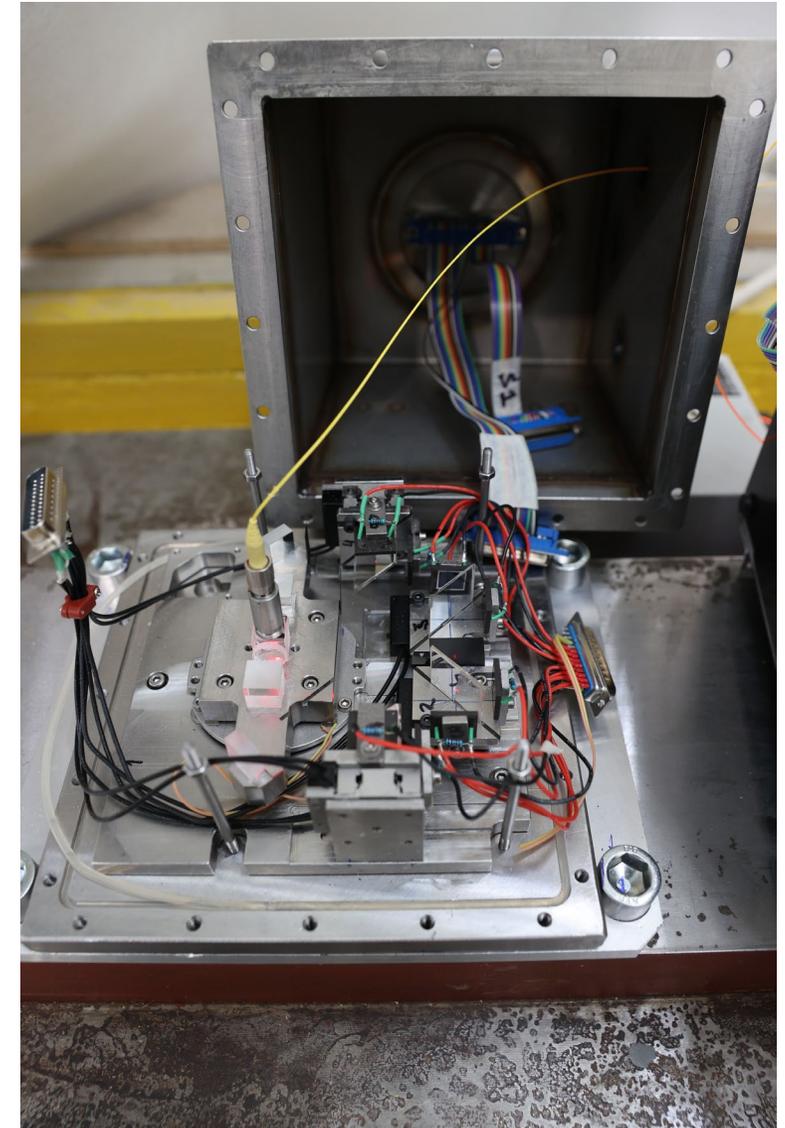
## Project “Precision laser metrology for accelerators and detector complexes”

M.V. Lyablin V.V. Glagolev

### *The Precision Laser Inclinomometer (basic idea)*



- The main idea is to use the effect of horizontality of surface of the liquid.
- Angular displacement of the laser beam reflected from the surface of the liquid is proportional to the inclination of the support with cuvette with liquid



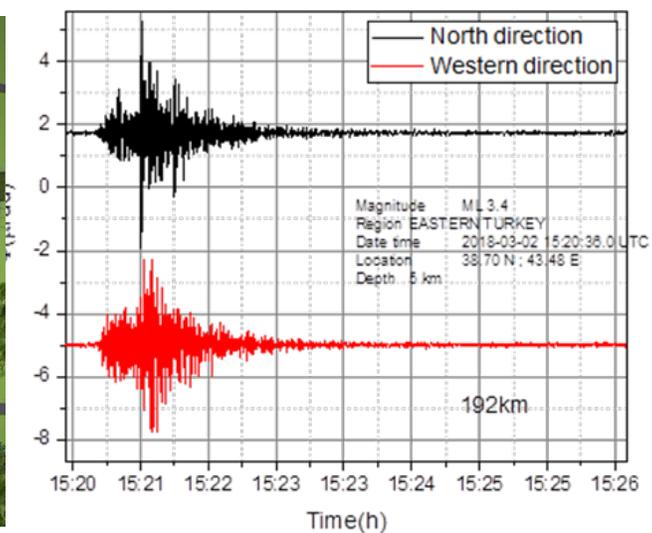
## Project “Precision laser metrology for accelerators and detector complexes”

Monitoring of angular  
microseismic oscillations of  
the Earth to determine the  
possibilities of stabilization  
of elements of colliders  
NICA, LHC, etc.

### ----- Цели Проекта -----

Creation of a software and  
hardware complex based on PLI  
for earthquake prediction

Increasing sensitivity of the VIRGO  
gravity antenna using data from  
inclinometers



VIRGO gravitational antenna - 2 PLIs have been  
operating for more than 1 year.  
Two PLIs are used in the noise reduction system  
of the North Mirror of the IGA VIRGO.

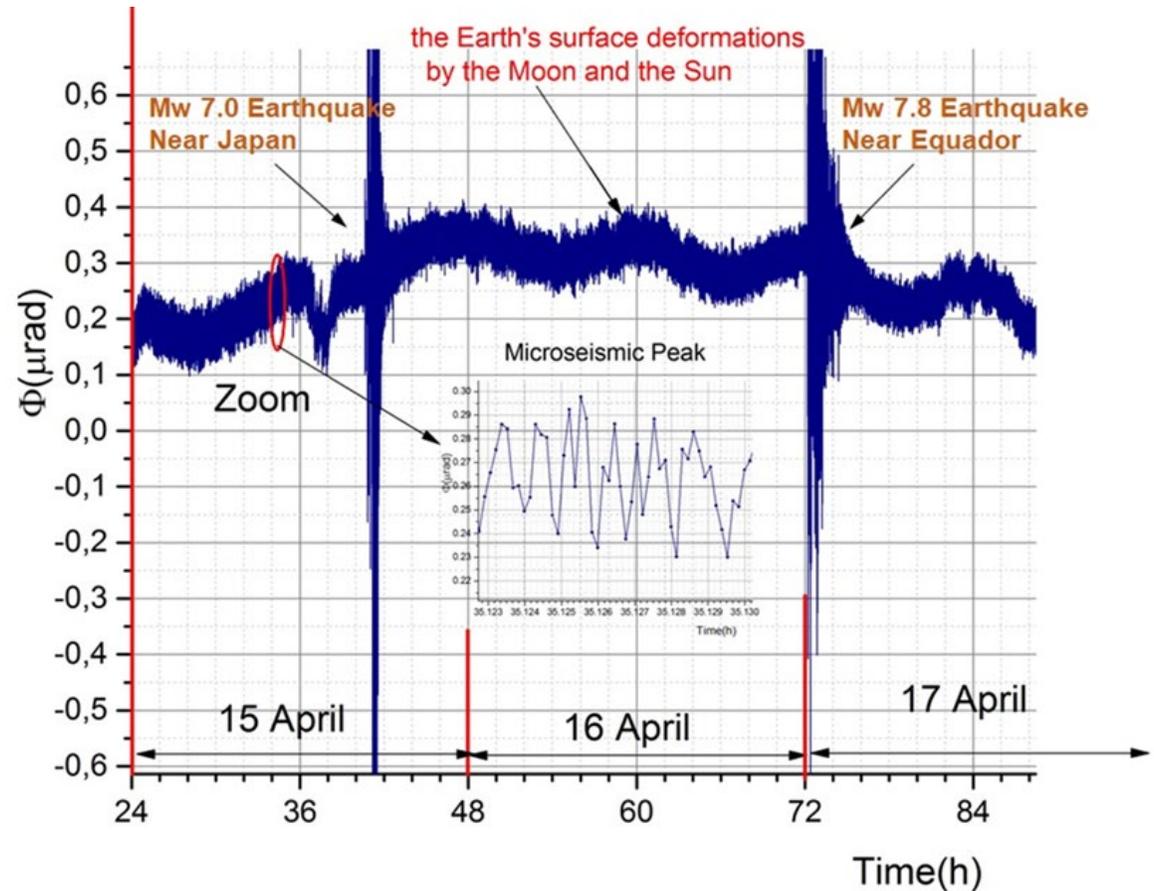
## Project “Precision laser metrology for accelerators and detector complexes”

### DEVELOPMENT OF DLNP SCIENTISTS

Unique detector of angular oscillations of the Earth's surface in two orthogonal directions:

- frequency range - upper limit about **15 Hz**
- Sensitivity (laser reference beam stability)  **$10^{-9}$  rad**

The device detects the angular inclinations of the Earth's surface, excited by the Moon, the Sun, remote earthquakes, microseismic peaks and sources of industrial origin



## Project "Precision laser metrology for accelerators and detector complexes"

### ПОЗДРАВЛЯЕМ!

Отдел лицензий и интеллектуальной собственности  
сообщает о получении патента ОИЯИ



ОЛИС, пп.ЛЯП, корп.113, 1-й эт. к.101 - 1  
e-mail: [grlan@jinr.ru](mailto:grlan@jinr.ru) тел. 21-65862 21-629

### ПОЗДРАВЛЯЕМ!

Отдел лицензий и интеллектуальной собственности  
сообщает о получении патента



ОЛИС, пп.ЛЯП, корп.113, 1-й эт. к.101 - 1  
e-mail: [grlan@jinr.ru](mailto:grlan@jinr.ru) тел. 21-65862 21-629



Заявка № 2020122047  
Приоритет изобретения 29 июня 2020 г.  
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 14 января 2021 г.  
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 29 июня 2040 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Измев

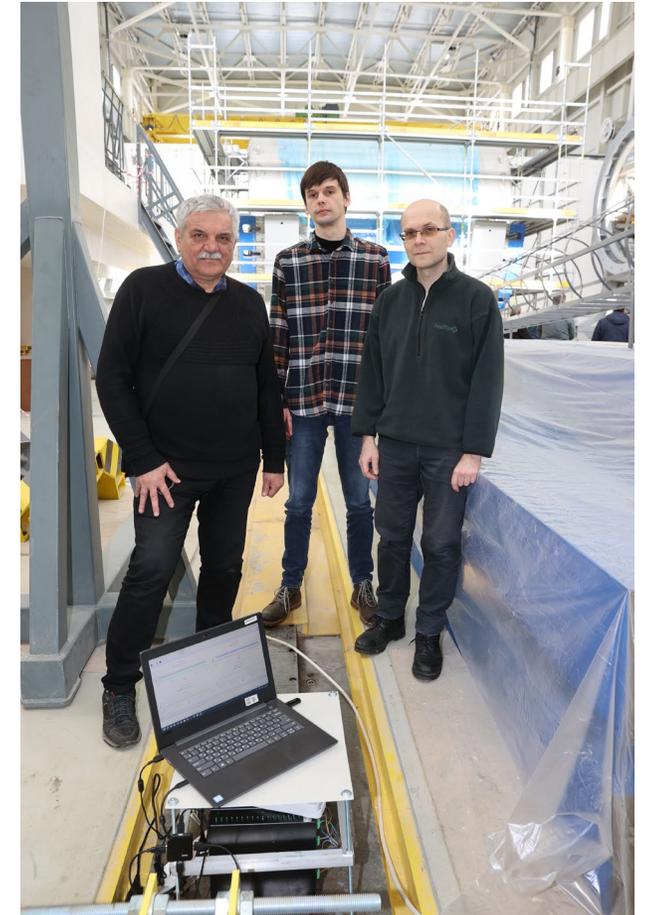
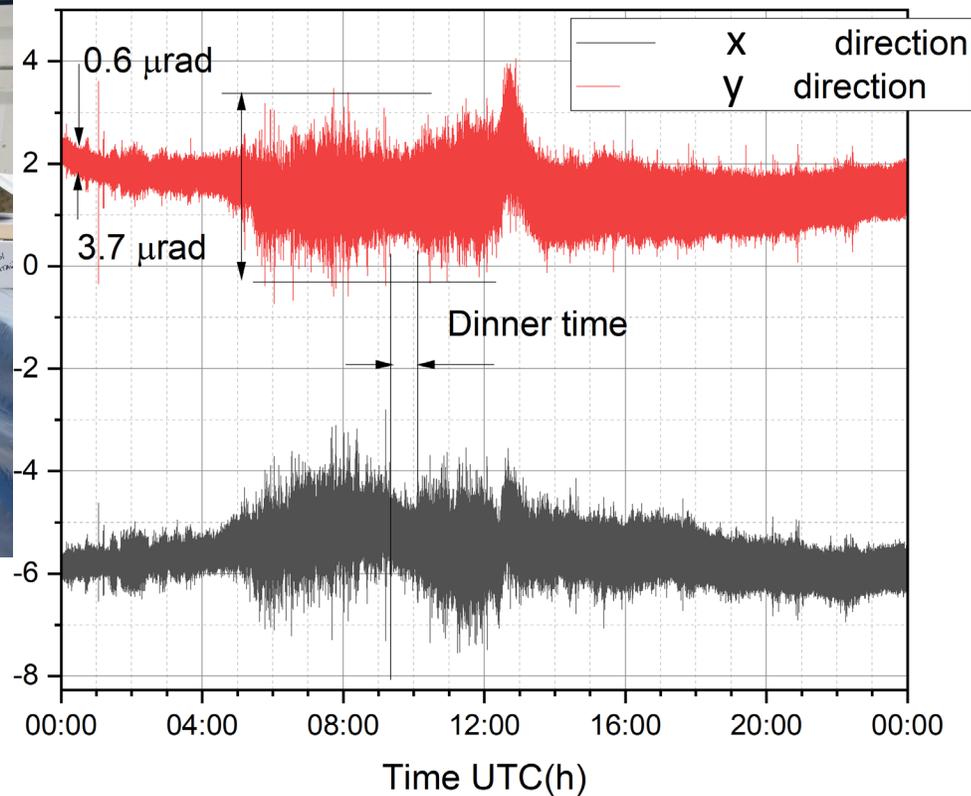
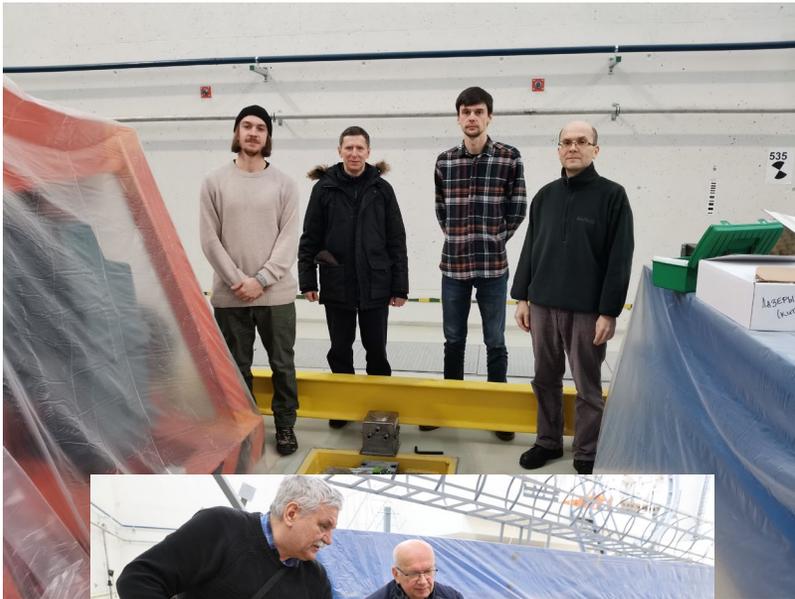
# Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems

## Project “Precision laser metrology for accelerators and detector complexes”

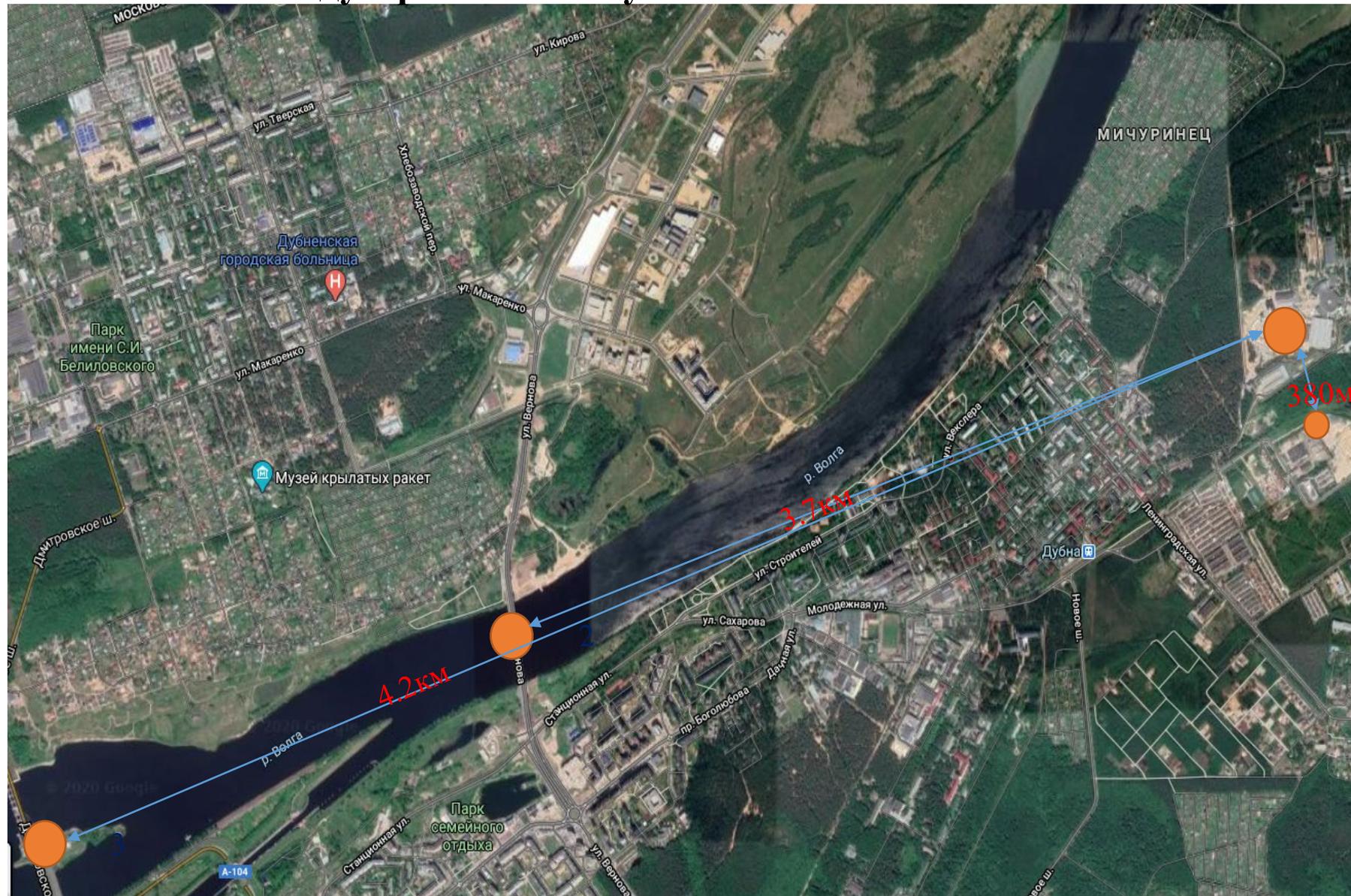


# Angular microseismic activity monitoring in the MPD hall of the NICA collider

- **Two Compact Precision Laser Inclinometers (CPLI) were installed in the MPD hall in spring 2022.**
- **Data on microseismic activity of an industrial nature have been obtained, and the amplitudes of the angles of floor oscillations in the MPD hall have been determined.**
- **Monitoring of oscillations of the MPD hall base and supports of the magneto-optical elements of the NICA collider will be continued with the installation of additional MPLs.**
- **In the future, the largest microseismic noises sources will be defined and the compensating feedbacks are going to be implemented for the accelerator elements to stabilize the beam orbits and the region of their interactions.**



# Источники промышленных шумов на НИКА



Источники угловых микросейсмических  
Индустриальных шумов  
на коллайдере NICA

- **Иваньковская ГЭС,**
- **Мост через р.Волгу**
- **Поворот объездной трассы,**
- **Восточная котельная,**
- **ЗЖБидК**

Источники угловых микросейсмических промышленных шумов на коллайдере **NICA**

## Развитие сети МПЛИ на территории России, Армении, Белоруссии и Узбекистана

На территории Российской Федерации, Армении, Узбекистана и Белоруссии планируются работы по созданию сети из МПЛИ с целью долговременного наблюдения изменения ландшафта поверхности Земли.

Дальнейшие работы планируется проводить в несколько этапов:

- Определение долговременного временного интервала достоверных измерений для МПЛИ. Для этих целей планируется размещение двух МПЛИ в Международной сейсмической обсерватории в Гарни и в дальнейшем двух в Гюмри (Армения). Согласованность показаний пары приборов обеспечат достоверность получаемой информации.
- Размещение пробной сети из нескольких инклинометров и определение деформации поверхности Земли этой сетью.
- Создание программно-аппаратного комплекса для синхронизации и приема поступающих с инклинометров данных. Создание системы on-line контроля за функционированием инклинометров. Визуализация данных. Разработка программного обеспечения для определения зон накопления сейсмической энергии.
- Создание полномасштабной сети в сейсмоопасных районах для точного определения зон накопления сейсмической энергии.

## Project “Precision laser metrology for accelerators and detector complexes”

### 2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии	Армения	Гюмри	Д.К. Карапетян	Протокол 4869-2-19/23
НАН Беларуси Центр Геофизического мониторинга	Беларусь	Минск	Аронов АГ, Аронов ГА	Базовое Соглашение 2023
Институт сейсмологии АН РУз	Узбекистан	Ташкент	В.А. Рафиков	Протокол 4948 от 17.09.2020
Камчатский филиал «Единая геофизическая служба РАН», КамГУ им Витуса Беринга	Россия	Петропавловск-Камчатский	Е.О. Макаров, Д.И. Испраилов	<u>Договор 2022</u>

# Dzheleпов Laboratory of Nuclear Problems

## Project "Precision laser metrology for accelerators and detector complexes"

### COLLABORATION AGREEMENT

#### CONCERNING

THE DEVELOPMENT OF A SEISMIC ACTIVITY MONITORING SYSTEM WITH THE PRECISION LASER INCLINOMETER FOR THE ADVANCED VIRGO EXPERIMENT

REFERENCE KR4469/ATS/HL-LHC  
(THE "AGREEMENT")

**BETWEEN:** THE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH ("CERN"), an Intergovernmental Organization having its seat at Geneva, Switzerland, duly represented by Fabiola Gianotti, Director-General,

**AND:** THE JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH ("JINR"), an Intergovernmental Organization having its seat at Dubna, Russia, duly represented by Victor Matveev, Director-General,

**AND:** THE ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE ("INFN"), an Italian agency dedicated to fundamental research, established in Rome, Italy, duly represented by Antonio Zoccoli, President,

Hereinafter each individually referred to as a "Party" and collectively as the "Parties",

#### CONSIDERING:

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор Института сейсмологии  
имени Г.А. Мавлянова  
АН Республики Узбекистан  
\_\_\_\_\_ В.А. Рафиков  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор Объединенного  
института ядерных  
исследований  
\_\_\_\_\_ Г.В. Трубников  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

#### ПРОГРАММА

Научной стажировки сотрудника Института сейсмологии АН Республики Узбекистан (ИС АН РУз) в Объединенный институт ядерных исследований (г.Дубна, Россия)

**1. Наименование программы:** Работы по проекту применения инклинометров, разработанных в ОИЯИ, для определения сейсмоопасных регионов.

**2. Цель научной стажировки:** Освоение наладки и обслуживания Малогабаритного Прецизионного Лазерного Инклинометра (МПЛИ).

УТВЕРЖДАЮ  
\_\_\_\_\_ [М.п.]  
Директор Объединенного института  
ядерных исследований  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДАЮ  
\_\_\_\_\_ [М.п.]  
Директор Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Утверждаю  
Директор ОИЯИ  
\_\_\_\_\_ Г.В. Трубников  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Утверждаю  
Директор КФ ФИЦ ЕГС РАН  
\_\_\_\_\_ Д.В. Чебров  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Утверждаю  
И. о. ректора ФГБОУ ВО  
КамГУ им. В. Беринга  
\_\_\_\_\_ Е. С. Меркулов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

### ПРОТОКОЛ № 4869-2-19/23

о выполнении совместной научно-исследовательской работы Объединенный институт ядерных исследований и Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА, г.Тюмри, Республика Армения подписали настоящий протокол в целях

объединения усилий и сокращения сроков достижения научно-технических результатов в исследованиях и разработках в области изучения геодинамических процессов на территории Армении с целью выявления возможных зон возникновения сильных землетрясений и их прогноза,

в соответствии с планами научно-исследовательских работ сотрудничающих организаций.

1. Совместные исследования и разработки стороны обязуются проводить по согласованной программе в рамках тем:

ОИЯИ - "

ных и при

ИГИС НА

2. Мест

### НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ АДДЗЯЛЕННЕ ФІЗІКІ, МАТЭМАТЫКІ І ІНФАРМАТЫКІ

### NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS DEPARTMENT OF PHYSICS, MATHEMATICS AND INFORMATICS

220072, Беларусь, г.Минск, пр. Незалежнасці, 66, к. 225. АФМІ НАН Беларусі  
тэл. 325 83 76, факс (017) 325 83 76, E-mail: physics @ presidium. bas-net. by

18.08.2022 № 25/17

Директору Объединенного  
института ядерных  
исследований  
академику РАН  
Трубникову Г.В.

Глубокоуважаемый Григорий Владимирович!

по результатам рабочей встречи с 6 по 8 июня 2022 года представителей Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси с сотрудниками Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова Объединенного института ядерных исследований г.Дубна (Российская Федерация) подготовлен проект на проведение научно-исследовательской работы по теме: «Исследовать разрешающие способности малогабаритного прецизионного лазерного инклинометра (МПЛИ) в регистрации сейсмических событий и угловых колебаний поверхности Земли в системе сейсмологического мониторинга Беларуси» (2023-2024 гг.).

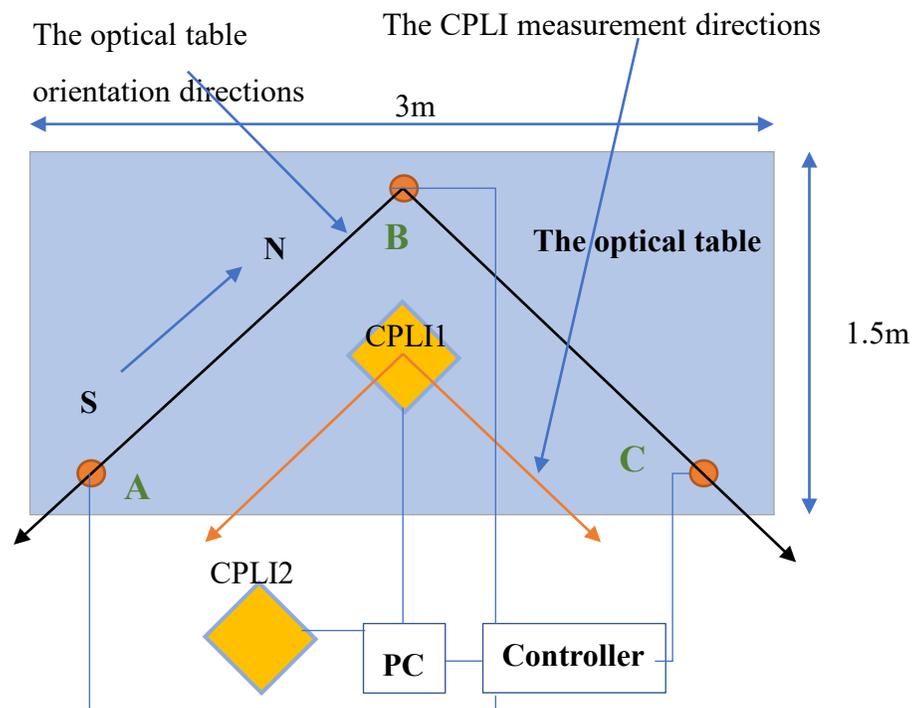
### Договор о научно-техническом сотрудничестве между Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ), Камчатским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) и Камчатским Государственным университетом им. Витуса Беринга (КамГУ им Витуса Беринга)

Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) в лице директора Трубникова Григория Владимировича, действующего на основании Устава, Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) в лице директора Чеброва Даниила Викторовича, действующего на основании Положения о КФ ФИЦ ЕГС РАН и доверенности от 19.07.2019 г. № 19 и Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» (КамГУ им. Витуса Беринга) в лице и.о. ректора Меркулова Евгения

В лице: Должность: Директор Имя: Трубников Григорий Владимирович Основание полномочий: Устав далее именуемым «ОИЯИ», и Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси Адрес: Республика Беларусь, 220084, г. Минск, ул. академика <u>Купренича</u> , д.1, корп. 3
В лице: Должность: Директор Имя: Аронов Геннадий Аркадьевич Основание полномочий: Устав Далее именуемым «Участник», В дальнейшем при совместном упоминании ОИЯИ и Участник именуются «Стороны», а по-отдельности «Сторона».
о следующем:
<b>1. Сотрудничество</b>
1.1. Настоящее Соглашение определяет общие условия, а также основные направления сотрудничества между Сторонами в рамках: Тематика сотрудничества: Разработка и применение лазерных инклинометров для фундаментальных и прикладных целей. Тема согласно Проблемно-тематическому плану ОИЯИ (при наличии): 04-2-1126-2015/2023 «Изучение разрешающей способности малогабаритного прецизионного лазерного инклинометра (МПЛИ) в определении кинематических и динамических параметров волновых процессов в системе сейсмологических наблюдений Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси». Стороны определили, что они стремятся к достижению следующих результатов сотрудничества: Создание новых методов и средств измерений в системе геофизического мониторинга для получения дополнительной информации и знаний о геодинамических процессах.
1.2. Настоящее соглашение вступает в силу в дату подписания последней из Сторон и действует до 31 декабря 2025 г.

# Сопутствующая метрологическая активность

## Сейсмоизолированная платформа

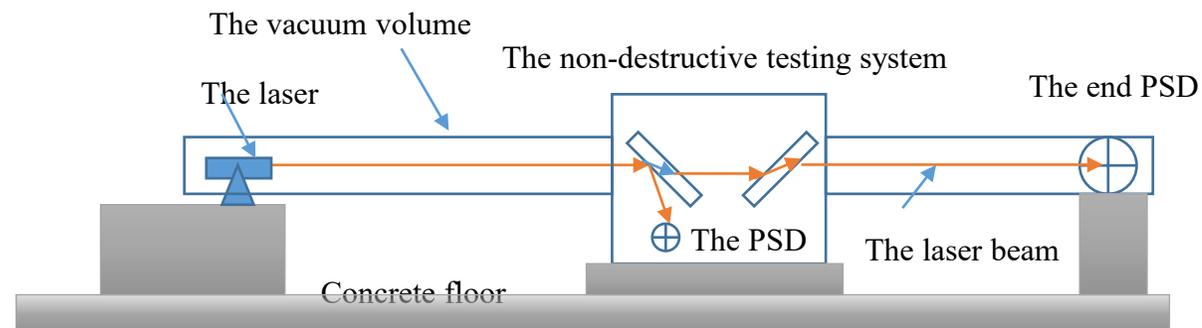


В качестве сопутствующей метрологической активности мы предлагаем продолжить работы по созданию сейсмоизолированного оптического стола (платформы).

Предыдущие исследования показали перспективность развиваемого направления.

Наша задача скомпенсировать угловые наклоны поверхности оптического стола в диапазоне частот  $10^{-6}$ -1Гц.

## Лазерная реперная линия



Лазерная реперная линия (ЛРЛ) является ключевым метрологическим инструментом, который позволит выставить детекторы физической установки с высокой точностью.

Предыдущие исследования, которые проводились в Метрологической Лаборатории ЛЯП, показали перспективность её создания

## Ожидаемые результаты работы по проекту «Прецизионная лазерная метрологии для ускорителей и детекторных комплексов»

Работы по проекту предполагается вести в течение 5 лет.

За указанный период планируется :

- Создать и запустить 12 МПЛИ для коллайдера NICA (для попарного контроля в 3-х местах перед выводами встречных пучков)
  - Создать программное обеспечение для визуализации изменения положения поверхности Земли под коллайдером НИКА.
  - Создать программно-аппаратный комплекс для синхронизации, обработки показаний МПЛИ и передачи данных для выполнения компенсации колебаний опор ускорителя с помощью элементов магнитооптики коллайдера NICA
  - Модифицировать текущую версию МПЛИ для долговременной стабильной работы на протяжении 6-12 месяцев с точностью угловых измерений  $10^{-7}$  рад. в условиях удаленных геодезических пунктов с питанием от солнечных батарей
  - Провести НИР по созданию новой версии МПЛИ – интерферометрического ПЛИ (ИПЛИ), обладающего слабой температурной зависимостью и менее затратным производством, базирующимся на доступных компонентах
  - Создать серию модифицированных МПЛИ и ИПЛИ
  - На базе наборов модифицированных МПЛИ и ИПЛИ провести этапы развертывания сетей для определения регионов накопления сейсмической энергии и мониторингования объектов на территории Камчатки, Армении, Беларуси и Узбекистана
  - Создать необходимое программное обеспечение для приема данных с сети ПЛИ, он-лайн контроля, визуализации поверхности Земли контролируемой сетью, алгоритмы (включая машинное обучение, нейронные сети) для определения зон повышенного накопления сейсмической энергии

Для сопутствующей метрологической активности :

- Провести НИР по созданию сейсмодкомпенсированной от угловых колебаний поверхности Земли платформы.
- Провести НИР по созданию лазерной реперной линии.

# Кадровое обеспечение

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделение	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	<u>М.В.Ляблин</u>	ЛЯП	Нач. сектора	1.0
		<u>В.В.Глаголев</u>	ЛЯП	Зам.директора ЛЯП	0.7
		<u>Г.Т.Торосян</u>	ЛЯП	Снс	1.0
		<u>И.В.Бедняков</u>	ЛЯП	Мнс	1.0
		<u>А.В.Красноперов</u>	ЛЯП	Снс	1.0
		<u>В.В.Терешенко</u>	ЛЯП	Нач. сектора	0.5
		<u>К.С.Бунятов</u>	ЛЯП	Зам. начальника <u>отд</u>	0.2
2.	инженеры	<u>А.М.Кузькин</u>	ЛЯП	Ст. инженер	1.0
		<u>С.Н.Шилов</u>	ЛЯП	Ст. инженер	1.0
		<u>Ю.В.Клемешов</u>	ЛЯП	Инженер	1.0
		<u>Р.В.Ни</u>	ЛЯП	Инженер	1.0
		<u>А.А.Плужников</u>	ЛЯП	Инженер	1.0
		<u>К.Д.Поляков</u>	ЛЯП	Инженер	1.0
		<u>С.А.Бедняков</u>	ЛЯП	Инженер	0.5
		<u>С.В.Терешенко</u>	ЛЯП	инженер	0.5
3.	специалисты	<u>С.Н.Студенов</u>	ЛЯП	Монтажник <u>рза</u> и п.	0.5
4.	рабочие				
	<b>Итого:</b>				<b>12.9</b>

# Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления

## Проекта / Подпроекта КИП

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам					
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	
	Международное сотрудничество (МНТС)	200	40	40	40	40	40	
	Материалы	100	20	20	20	20	20	
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	200	40	40	40	40	40	
	Пуско-наладочные работы	-	-	-	-	-	-	
	Услуги научно-исследовательских организаций	-	-	-	-	-	-	
	Приобретение программного обеспечения	-	-	-	-	-	-	
	Проектирование/строительство	-	-	-	-	-	-	
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)	-	-	-	-	-	-	
	Необходимые	Нормо-час	Ресурсы					
			- сумма FTE,					
- ускорителя/установки, - реактора,.....								
Источники финансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	500	100	100	100	100	100
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования	50	10	10	10	10	10

12. N. Azaryan, V. Batusov, J. Budagov, V. Glagolev, M. Lyablin, G. Trubnikov, G. Shirkov, J.-Ch. Gayde, B. Di Girolamo, D. Mergelkuhl, M. Nessi  
The precision laser inclinometer long-term sensitivity in thermo-stabilized conditions Presented by M. Lyablin at CLIC Workshop 2015 (26-30 January 2015, CERN) Dubna E13-2015-35
13. B. Di Girolamo, J.-Ch. Gayde, D. Mergelkuhl, M. Schaumann, J. Wenninger, Switzerland N. Azaryan, J. Budagov, V. Glagolev, M. Lyablin, G. Shirkov, G. Trubnikov, Russia The monitoring of the effects of earth surface inclination with the precision laser inclinometer for high luminosity colliders Proceedings of RuPAC2016, St. Petersburg, Russia, P. 210-212
14. N. Azaryan, J. Budagov, J.-Ch. Gayde, B. Di Girolamo, V. Glagolev, M. Lyablin, D. Mergelkuhl, G. Shirkov The Innovative Method of High Accuracy Interferometric Calibration of the Precision Laser Inclinometer Physics of Particles and Nuclei Letters, 2017, Vol. 14, No. 1, pp. 112–122. 2017
15. N. Azaryan, V. Batusov, J. Budagov, V. Glagolev, M. Lyablin, Trubnikova, G. Shirkova, J.-Ch. Gayde, B. Di Girolamo, A. Herty, H. Mainaud Durand, D. Mergelkuhl, V. Rude Comparative Analysis of Earthquakes Data Recorded by the Innovative Precision Laser Inclinometer Instruments and the Classic Hydrostatic Level System Physics of Particles and Nuclei Letters, 2017, Vol. 14, No. 3, pp. 480–492. © Pleiades Publishing, Ltd., 2017
16. Температурная стабильность 0.0050С бетонного пола в Транспортном тоннеле №1 ЦЕРН в месте расположения прецизионного лазерного Инклинометра Н.С. Азарян, Ю.А. Будагов, М.В. Ляблин, А.А. Плужников, Б. Ди Джироламо, Ж.-Кр. Гайде, Д. Мергелькуль P13-2017-36
17. N. Azaryan, J. Budagov, M. Lyablin, A. Pluzhnikov, B. Di Girolamo, J.-Ch. Gayde, D. Mergelkuhl Determination of the maximum recording frequency by the Precision Laser Inclinometer of an earth surface angular oscillation Physics of Particles and Nuclei Letters November 2017, Volume 14, Issue 6, pp 920–929
18. Компенсация углового шумового колебания лазерного луча в Прецизионном Лазерном Инклинометре Н.С. Азарян, Ю.А. Будагов, М.В. Ляблин, А.А. Плужников, Б. Ди Джироламо, Ж.-Кр. Гайде, Д. Мергелькуль P13-2017-34
19. N. Azaryan, J. Budagov, M. Lyablin, A. Pluzhnikov, B. Di Girolamo, J.-Ch. Gayde, D. Mergelkuhl The compensation of the noise due to angular oscillations of the laser beam in the Precision Laser Inclinometer Physics of Particles and Nuclei Letters November 2017, Volume 14, Issue 6, pp 930–938
20. Определение Максимальной частоты угловых колебаний поверхности Земли регистрируемых Прецизионным лазерным Инклинометром Н.С. Азарян, Ю.А. Будагов, М.В. Ляблин, А.А. Плужников, Б. Ди Джироламо, Ж.-Кр. Гайде, Д. Мергелькуль P13-2017-35
21. Azaryan, N.; Budagov, J.; Lyablin, M.; Pluzhnikov, A.; Gayde, J.-Ch.; Di Girolamo, B.; Mergelkuhl, D. The temperature stability of 0.005°C for the concrete floor in the CERN Transfer Tunnel #1 hosting the Precision Laser Inclinometer Physics of Particles and Nuclei Letters, Volume 14, Issue 6, pp.913-919
22. Professional Precision Laser Inclinometer: the Noises Origin and Signal Processing N. Azaryan, J. Budagov, V. Glagolev, M. Lyablin, A. Pluzhnikov, A. Seletsky, G. Trubnikova, B. Di Girolamo, J.-C. Gayde & D. Mergelkuhl Physics of Particles and Nuclei Letters volume 16, №3 pages 264–276 (2019)
23. The Seismic Angular Noise of an Industrial Origin Measured by the Precision Laser Inclinometer in the LHC Location Area N. Azaryan, J. Budagov, V. Glagolev, M. Lyablin, A. Pluzhnikov, A. Seletsky, G. Trubnikov, B. Di Girolamo, J.-C. Gayde & D. Mergelkuhl Physics of Particles and Nuclei Letters volume 16, №4 pages 343–353 (2019)
24. Position-Sensitive Photoreceivers: Sensitivity and Detectable Range of Displacements of a Focused Single-Mode Laser Beam N. S. Azaryan, J. A. Budagov, M. V. Lyablin, A. A. Pluzhnikov, B. Di Girolamo, J.-Ch. Gayde & D. Mergelkuhl Physics of Particles and Nuclei Letters volume 16, №4 pages 223
25. Colliding Beams Focus Displacement Caused by Seismic Events N. S. Azaryan, J. A. Budagov, M. V. Lyablin, A. A. Pluzhnikov, G. Trubnikov, G. Shirkov, O. Bruning, B. Di Girolamo, J.-Ch. Gayde, D. Mergelkuhl & L. Rossi Physics of Particles and Nuclei Letters volume 16, №4 pages 377–396 (2019)
26. Budagov, J.; Di Girolamo, B.; Lyablin, M. The Method of Temperature Resistivity Creation of the Compact Precision Laser Inclinometer Physics of Particles and Nuclei Letters, Volume 17, Issue 7, p.931-937 (December 2020), DOI: 10.1134/S1547477120070031
27. N. Azaryan, J. Budagov, V. Vernikovskaya, M. Lyablin, A. Pluzhnikov, O. Smykovsky, B. Di Girolamo, J.-Ch. Gayde, D. Mergelkuhl Minimization of the Long Term Noises of the 24-Bit ADC for the Precision Laser Inclinometer. Phys. Part. Nuclei Lett. 18, 773–785 (2021).
28. B. Di Girolamo, J. A. Budagov, M. V. Lyablin, S. Vlachos The Precision Laser Inclinometer 12th Int. Particle Acc. Conf. IPAC2021, Campinas, SP, Brazil JACoW Publishing, ISBN: 978-3-95450-214-1 ISSN: 2673-5490 doi:10.18429/JACoW-IPAC2021-WEPAB281
29. Yu. A. Budagov, V. V. Glagolev, M. V. Lyablin, E. V. Pishchalnikova, A. M. Kuzkin, G. V. Trubnikov, B. Di Girolamo Position-Sensitive Measurements of a Single-Mode Laser Beam Spot Using the Dividing Plate Method Physics of Particles and Nuclei Letters Pub Date: 2023-01-10, DOI:10.1134/s1547477122060061
30. M. V. Lyablin, Yu. V. Klemeshov Laser Power Stabilization in a Precision Laser Inclinometer Physics of Particles and Nuclei Letters, 2023, Vol. 20, No. 2, pp. 140–155., 2023. DOI: 10.1134/S1547477123020176

# Проект

Развитие техники эксперимента и прикладные исследования на монохроматических пучках позитронов (PAS)

**Руководитель проекта: А. А. Сидорин**

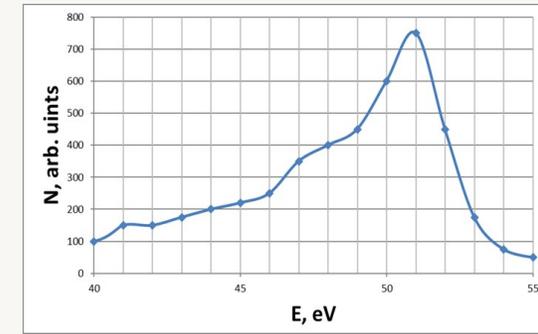
**Научный руководитель проекта: И. Н. Мешков**

## Метод позитронной аннигиляционной спектроскопии и его преимущества

Для исследований структуры различных материалов и дефектов, возникающих при различных физических воздействиях (старение, внешние нагрузки, радиационное воздействие) требуются высокоточные методы, способные различать неоднородности кристаллической структуры на нанометровом уровне. Одним из таких методов является **позитронная аннигиляционная спектроскопия (ПАС)**. Этот метод является чувствительным к детектированию различных (так называемых «open-volume») дефектов размером от 0,1 до 1 нм с минимальной концентрацией до  $10^{-7}$  см<sup>-3</sup>. Метод ПАС имеет на 4 порядка лучшее пространственное разрешение по сравнению с просвечивающим электронным микроскопом.



Typical slow positron spectrum from a cryogenic source of slow monochromatic positrons. Full width at a half magnitude is of 2 eV. The output of positrons is  $3.3 \times 10^6$  positrons per second.



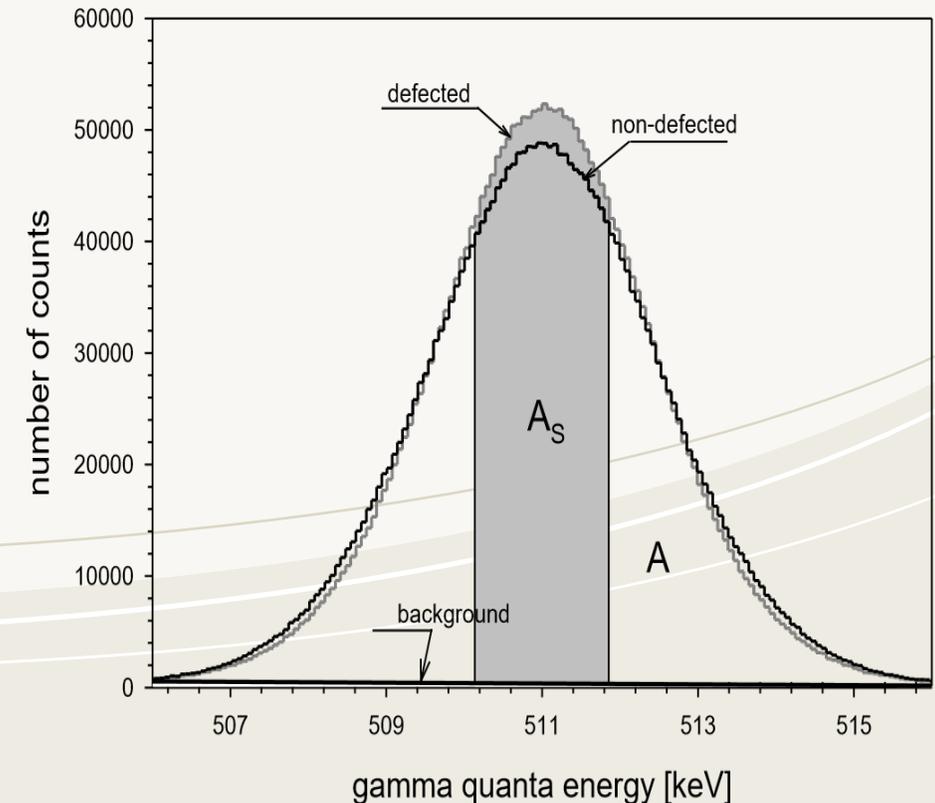
50 eV – 35 keV e<sup>+</sup> на образец

# 1. Развитие экспериментальных методов

## метод доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ)

Этот метод используется для обнаружения вакансий, вакансионных кластеров, а также их концентрации. Аннигиляция захваченного дефектом позитрона дает более узкий спектр аннигиляционной линии 511 кэВ по сравнению с тем, который создается при аннигиляции позитрона с электронами атомов идеальной структуры или электронами проводимости.

Усовершенствование спектрометра ДУАЛ введением в схему измерения возможности регистрации совпадения двух аннигиляционных гамма-квантов. В стандартной схеме измерения (один детектор) отношение пика к фону обычно составляет  $\approx 30$  к 1. Отношение пика к фону может быть улучшено более чем на два порядка с помощью метода регистрации совпадения двух гамма-квантов.



# 1. Развитие экспериментальных методов

усовершенствование метода измерения времени жизни позитронов, аннигилирующих в образце (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy (PALS))

PALS спектроскопия служит уникальным инструментом для характеристики структурных дефектов и пустот в материалах. Время жизни позитрона связано с размером пустоты, в которую захвачен позитрон, и слабо зависит от материала, окружающего пустоту. Тем не менее количественное определение времени жизни позитрона затруднено при рассмотрении тонких пленок или слоистых структур с толщиной субмикронного слоя, имеющих высокую технологическую значимость. Это связано с тем, что энергия позитронов от источника лежит в широких пределах от единиц эВ до 1,2 МэВ.

Разрабатываемое в настоящее время усовершенствование метода преодолевает это ограничение, используя моноэнергетические позитронные пучки, что позволяет проводить исследования тонких пленок в зависимости от глубины в масштабе от нанометров до микрометров. В мире существует лишь несколько подобных установок.



- 1 – образец и два счётчика
- 2 – спектрометр времени жизни
- 3 – источник напряжения
- 4 – ПК

Метод PALS в классической постановке

# Задачи

## 2. Прикладные исследования

### Полупроводники

Дефекты атомных размеров в полупроводниках являются электрически активными и играют важную роль в электрических и оптических свойствах материалов. Дефекты индуцируют локализованные электронные уровни, которые выступают в качестве захватывающих, рекомбинирующих и рассеивающих центров для свободных носителей. Локализованные уровни могут быть обнаружены различными спектроскопиями. Однако, определение атомной структуры дефектов оказалось сложнее. Позитронная аннигиляция в качестве дефект-спектроскопического метода имеет следующие преимущества: у нее высокая чувствительность к дефектам вакантного типа, позитронная аннигиляция может быть применена к любому материалу, независимо от его легирования и проводимости.

### Пористые материалы

Нанопористые материалы имеют широкий спектр промышленного применения, что в значительной степени следует из их чрезвычайно высокой площади поверхности, содержащей участки, которые могут быть использованы (например, в катализе) для захвата и разделения молекул.

### Металлы и сплавы

Анализ физических свойств металлов и соединений под действием ионизирующего излучения. Исследование дефектов, вызванных ионизирующим излучением, исследование изменения структуры и поверхности различными спектроскопическими методами.

# Полученные результаты

## 1. Развитие экспериментальной базы



### *а. Специализированная экспериментальная станция.*

Была разработана, изготовлена и смонтирована новая специализированная экспериментальная станция позитронной аннигиляционной спектроскопии. Данная станция разработана для исследования образцов методом ДУАЛ на потоке монохроматических позитронов, как с одним детектором, так и с двумя детекторами. В новой станции предусмотрены места для размещения регистрирующей аппаратуры для метода PALS. Были проведены вакуумные испытания станции, и в 2021 году станция была установлена на штатное место. Проверка станции показала существенное ускорение процесса установки исследуемых образцов, увеличилась скорость измерения образцов.

### *б. Система упорядочения потока позитронов.*

Система упорядочения потока позитронов является частью создаваемого спектрометра измерения времени жизни позитрона в веществе PALS. Упорядочение потока позитронов происходит в результате прохождения частицами ускорительного зазора ВЧ резонатора. Резонатор был установлен в вакуумную камеру, проведена подача на него тестовых сигналов. Установка резонатора не сказалась на качестве и скорости измерения образцов в новой специализированной экспериментальной станции методом ДУАЛ.

### *в. Система реактивного ионного травления*

Для реализации возможности исследования тонкопленочных образцов была разработана система реактивного ионного травления (Рис. 2). Ее основу составляет приобретенный ионный источник фирмы PREVAC. Был проведен тестовый запуск ионного источника.

# Полученные результаты

## 2. Прикладные исследования

В настоящее время алмазы широко используются в науке и технике. Однако свойства алмаза из-за дефектов до конца не изучены. В дополнение к оптическим методам, позитронная аннигиляционная спектроскопия (PAS) может быть успешно использована для изучения дефектов в алмазах. Позитроны способны обнаруживать вакансии, малые и большие скопления вакансий, индуцированные облучением, с предоставлением информации об их размере, концентрации и химическом окружении.

Разработка фотонных устройств на основе материалов GeSiSn, совместимых с кремниевой технологией в инфракрасном диапазоне около 2 мкм и выше, открывает возможности их применения в таких областях, как сенсорика (газовые и биологические датчики), биомедицинская диагностика и мониторинг окружающей среды, а также астрофизика. Кристаллы GeSiSn рассматривается как материал для создания экономичных, совместимых с кремнием, фотоприемников в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах.

Северный (Арктический)  
федеральный университет  
имени М. В. Ломоносова

Сверхширокополосный Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и связанные с ним твердые растворы представляют большой интерес для разработки мощных электронных устройств нового поколения и фоточувствительных фотоприемников, защищенных от солнечных лучей.

Одной из привлекательных особенностей системы Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> является высокая радиационная стойкость, что делает ее пригодной для работы в жестких радиационных условиях, таких как открытый космос.

Тип и распределение дефектов от различных доз облучения протонами в тонких пленках Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> изучались методом ДУАЛ на пучке монохроматических позитронов.

Основные области  
проведенных  
исследований

Томский  
политехнический  
университет

Rzhanov Institute of  
Semiconductor  
Physics Siberian  
Branch of Russian  
Academy of Sciences  
(Novosibirsk)

Многослойные функционально градуированные покрытия с различными кристаллическими структурами рассматриваются как потенциальные материалы с высокой устойчивостью к радиационным дефектам, поскольку дефекты вакансионного типа и атомы междоузлий рекомбинируют на границах раздела.

# Ожидаемые результаты

## 1. Метод ДУАЛ на совпадение (с двумя детекторами)

Реализация позволит повысить разрешающую способность имеющегося метода с одним детектором, а так же существенно повысит точность.

## 2. Метод ПАЛС на пучке

Будет преодолен основной недостаток метода PALS в «классической» постановке (на независимом источнике) - трудности при сканировании образцов состоящих из тонких пленок.

## 3. Расширение базы исследуемых образцов

Привлечение к сотрудничеству представителей различных научных, образовательных и производственных организаций. Исследование образцов из более широкой области физики твердого тела.

# FTE

№ № п/п	Категория работника	Основной персонал, сумма FTE	Ассоциированный персонал, сумма FTE
1.	научные работники	2,25	0,5
2.	инженеры	4	
3.	специалисты	0	
4.	служащие	0	
5.	рабочие	0	
	Итого:	6,25	0,5

Планируется увеличение FTE до 8.25 за счет привлечения дополнительного персонала из категории научных работников, а так же инженеров.

# Финансы

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам					
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	
	Международное сотрудничество (МНТС)	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
	Материалы	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	<b>160</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	
	Пуско-наладочные работы	0	0	0	0	0		
	Услуги научно-исследовательских организаций	0	0	0	0	0		
	Приобретение программного обеспечения	0	0	0	0	0		
	Проектирование/строительство	0	0	0	0	0		
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)	0	0	0	0	0		
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы	0	0	0	0	0	
		– сумма FTE,	0	0	0	0	0	
		– ускорителя/установки,	0	0	0	0	0	
		– реактора,..	0	0	0	0	0	
Источники финансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	<b>210</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>35</b>	<b>35</b>
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей (Грант полномочного представителя правительства социалистической республики Вьетнам)						
		Средства по договорам с заказчиками	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
		Другие источники финансирования						

## 2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
Центр ядерных технологий	Вьетнам	Хошимин	Нгуен Ву Минь <u>Чунг</u>	Соглашение о сотрудничестве, совместные работы
Институт Радиационных Проблем, Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики	Азербайджанская Республика	Баку	Самедов Самир <u>Фаиг оглы</u>	Соглашение о сотрудничестве, совместные работы
Институт ядерных исследований и ядерной энергетики при Болгарской академии наук	Болгария	София	Попов <u>Евгени</u> Петров	<u>Совместные работы</u>
Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова	Россия	Архангельск	<u>Есеев М. К.</u>	Совместные работы
Томский политехнический университет	Россия	Томск	Лаптев Р. С.	Совместные работы

# Publications

**A far from complete list of articles in the framework of the project:**

**Journal: [Materials](#)**

**Title: Investigation of Nitrogen and Vacancy Defects in Synthetic Diamond Plates by Positron Annihilation Spectroscopy (in print)**

**Journal: [Crystals](#)**

**Title: Detection of defects in synthetic diamond plates by positron annihilation spectroscopy method**

**Journal: [Coatings](#)**

**Title: The Microstructure of Zr/Nb Nanoscale Multilayer Coatings Irradiated with Helium Ions**

**Journal: [Journal of Applied Physics](#)**

**Title: Point defect creation by proton and carbon irradiation of  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

**Journal: [Acta Metallurgica Sinica \(English Letters\)](#)**

**Title: Surface and Subsurface Defects Studies of Dental Alloys Exposed to Sandblasting**

(эксперименты с поляризованными мишенями и пучками)

Дубна—Протвино—Москва—Харьков—Прага—  
Майнц—Глазго  
Базель—Лунд—Загреб—Павия—Бохум  
Бонн—Гиссен—Кент—Реджина—Саквилл—  
Вашингтон—Йорк

Дубна, Лаборатория ядерных проблем им. В.П. Джелепова,  
ОИЯИ

Н.А. Бажанов, Д.В. Белов, Н.С. Борисов, В.П.Вольных, А.С.  
Должиков, А.Н. Федоров, И.В. Гапиенко, И.С. Городнов, Г.М.  
Гуревич, В.Л. Кашеваров, А. Ковалик, Е.С. Кузьмин, А.Б.  
Неганов, Ю.А. Плис, А.А. Приладышев, А.Б. Садовский, Ю.А.  
Усов, Ю.Н. Узиков, В.П.

Дубна, Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.  
Боголюбова, ОИЯИ С.Б. Герасимов.

Дубна, Лаборатория физики высоких энергий им. В.И.  
Векслера и А.М.Балдина, ОИЯИ, В.В. Фимушкин, Л.В.  
Кутузова, М.В. Куликов.

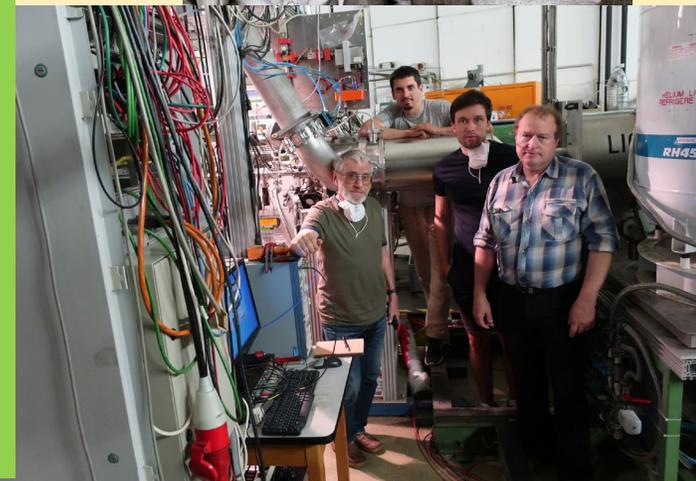
Руководитель проекта – Ю.А.Усов; зам. рук. :  
И.С.Городнов, Ю.А.Плис.

$$\int_0^{\infty} \frac{d\nu}{\nu} [\sigma_{3/2}(\nu) - \sigma_{1/2}(\nu)] = \frac{2\pi^2\alpha}{m^2} \kappa^2$$

The Gerasimov Drell-Hearn,  
GDH, sum-rule for polarized  
photoproduction from a  
polarized nucleon within a  
polarized nuclear target.



Технически, все части  
данного проекта  
объединены  
использованием  
поляризованных  
протонных (дейтронных)  
мишеней с  
«замороженным» спином.



The GDH-Collaboration (A2) has chosen to perform the measurement of the integrand of the sum rule at two accelerators: Elsa in Bonn and Mami in Mainz, Germany. The measurements at Mami are dedicated to the lower energy part up to 800 MeV while, with an overlap, the measurements at Elsa address photon energies of 600 MeV through 3 GeV.

В настоящем Проекте представлены четыре основные «активности», в которых заняты авторы: “SPASCHARM”, “GDH”, “NN” и “MESA”.

- 1) Экспериментальное исследование одно-спиновых асимметрий при производстве различных легких частиц с использованием пучка пионов с энергией 28 ГэВ на первом этапе и изучение одно-спиновых и двух-спиновых асимметрий в десятках реакций, в том числе с образованием чармония, с использованием поляризованного протонного пучка (проект SPASCHARM).

Конечной целью проекта SPASCHARM является изучение спиновой структуры протона, начиная с определения вклада глюонов в спин протона при больших значениях переменной Бьёркена ( $x$ ) путем изучения спиновых эффектов при образовании чармония. Это позволит понять адронный механизм образования чармония и выделить глюонную поляризацию  $\Delta g(x)$  при больших значениях  $x$ .

- 1) Эксперименты с реальным пучком фотонов: фоторождение мезонов на нуклонах и ядрах и комптоновское рассеяние на нуклонах. Основные цели: экспериментальное подтверждение правила сумм Герасимова-Дрелла-Хирна (GDH), исследование спиральной структуры парциальных каналов реакции, разрешение спектра возбуждения барионов из легких кварков, поиск недостающих барионных резонансов и экзотических состояний (дибарионы, узкие нуклонные резонансы), изучение строения адронов.

- 1) Измерение  $\Delta\sigma_T$  и  $\Delta\sigma_L$  в эксперименте по трансмиссии поляризованных нейтронов через поляризованную дейтронную мишень при энергиях нейтронов  $<16$  МэВ, где имеются ограниченные экспериментальные данные и где теория предсказывает существенный эффект трёхнуклонных сил (3NF). Данная часть проекта (NN) является продолжением измерений тех же величин при рассеянии нейтронов на протонах, которые проводились ранее.

- 1) Исследования и разработки поляризационного оборудования для MESA.

Сверхпроводящий ускоритель с рекуперацией энергии (MESA) расположен в Майнце. В MESA будут изучаться физические возможности, предлагаемые с использованием недавно созданной технологии ускорителя с рекуперацией энергии (ERL), которая обеспечивает очень высокую светимость электронного пучка на внутренних мишенях при низких энергиях. Одной из целей этого нового ускорителя электронов MESA является измерение угла смешивания электрослабого взаимодействия в электрон-протонном рассеянии с точностью 0,13%.

Поляризация пучка вносит значительный вклад в это измерение. Поляриметр Меллера, предложенный В. Лупповым и Е. Чудаковым, открывает путь к достаточно точному определению поляризации. Уже начаты исследования и разработки поляризационного оборудования MESA. В настоящее время мишень из поляризованного атомарного водорода создаётся коллективом Майнц-ОИЯИ. Важной частью этой цели является как раз рефрижератор растворения, где ОИЯИ имеет многолетний опыт успешной работы. К этой работе, также привлечены сотрудники ЛФВЭ, имеющие значительный опыт работы в этой области. Технически, все части данного проекта объединены использованием поляризованных протонных (дейтронных) мишеней с «замороженным» спином.

### Отчёт:

(05.2022-03.2023)

В декабре 2022 г. проведён методический сеанс на поляризованной мишени в ИФВЭ (Протвино) с целью определения состояния аппаратуры для последующей работы на пучке. По результатам запуска установки коллаборация «СПАСЧАРМ» приняла решение о разработке и изготовлении нового Криостата поляризованной мишени.

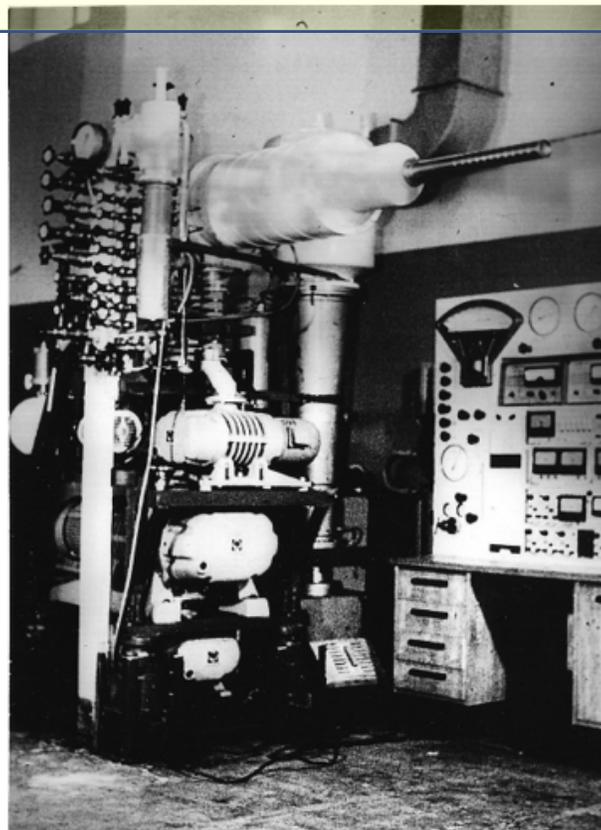


Рис. 1 Поляризованная замороженная мишень перед отправкой в ИФВЭ (Протвино) – 1978.

За отчётный период велось также сотрудничество в удалённом формате по работе поляризованной мишени в Бонне, составлена инструкция по запуску криостата растворения данной поляризованной мишени. Проводилась работа по обработке полученных физических данных на ускорителях “MAMI C” и “ELSA”



Рис. 2 Криостат поляризованной мишени созданный в ЛЯП ОИЯИ (Майнц).

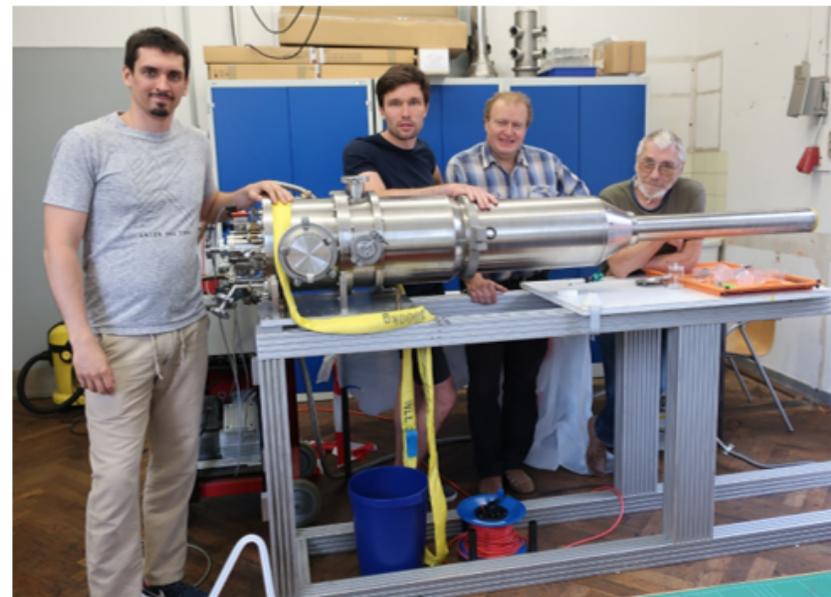


Рис. 3 Новый криостат, созданный в ЛЯП, ОИЯИ (Бонн).

Проведена обработка результатов экспериментов на установке источника поляризованных дейтронов в Чешском техническом университете в Праге. Подготовлена соответствующая публикация и запланирован доклад на семинаре 6 апреля 2023 г.



Рис.4 Установка для повышения поляризации пучка нейтронов ускорителя VdG, изготовленная в ЛЯП ОИЯИ (Прага).

Публикации за 2022-2023 г.			
№	Название публикации	Журнал, DOI	Ссылки на журналы
1	Measurement of Compton scattering at MAMI for the extraction of the electric and magnetic polarizabilities of the proton.	Physical Review Letters 128, 132503. DOI: <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.132503">10.1103/PhysRevLett.128.132503</a> . 01.04.2022. Q1, Scopus.	<a href="https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.132503">https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.132503</a>
2	Measurement of the helicity dependence for single $\pi^0$ photoproduction from the deuteron.	European Physical Journal A 58, 113 (2022). DOI: <a href="https://doi.org/10.1140/epja/s10050-022-00760-4">10.1140/epja/s10050-022-00760-4</a> . Submitted 03.03.2022 Q1, Scopus.	<a href="https://link.springer.com/article/10.1140/epja/s10050-022-00760-4">https://link.springer.com/article/10.1140/epja/s10050-022-00760-4</a> Published 30 June 2022.
3	Target and beam-target asymmetries for the $\gamma p \rightarrow \pi^0 p \gamma$ reaction.	27 Sep 2022	<a href="https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.14070">https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.14070</a>
4	First measurement of polarisation transfer $C_{\text{pol}}$ in deuteron photodisintegration and the signatures of the $d^*(2380)$ hexaquark	Preprint submitted to EPJ	<a href="https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.12299">https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.12299</a>
5	Neutron polarisation transfer, $C_{\text{pol}}$ , in $\pi^+$ photoproduction off the proton	Preprint submitted to Physics Letters B	<a href="https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.09688">https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.09688</a>

[Без заголовка]

Противно			
1	Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ	ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И АТОМНОГО ЯДРА 2023. Т. 54, вып.1. С.6–189	<a href="http://www1.jinr.ru/Pepan/v-54-1/02_abramov.pdf">http://www1.jinr.ru/Pepan/v-54-1/02_abramov.pdf</a>

## Планы работы на 2024-2028 годы:

- Разработка и создание нового криостата для поляризованной «замороженной» мишени установки «СПАСЧАРМ» - 2024-2026 гг.
  - Разработка и создание основных узлов мощного рефрижератора растворения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  для установки “MESA” – 2024-2025.
  - Завершение работ по созданию криостата для поляризованной мишени в Боннском университете. – 2024 г.
  - Обратная транспортировка и полный запуск поляризованной мишени в Майнце для проекта “GDH” – 2024-2025 гг.  
Проведение поляризационных исследований с использованием поляризованной «замороженной» мишени на ускорителе “MAMI C”, - 2026-2028 гг.
  - Проведение поляризационных исследований на новой поляризованной мишени на ускорителе Боннского университета, “ELSA”- 2025-2028 гг.
  - Сборка, монтаж и тестирование мощного рефрижератора растворения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  на пучковом канале установки “MESA”. – 2026-2027.
  - Запуск модифицированной поляризованной мишени установки “SPASCHARM” и начало набора физической статистики на ускорителе У-70, - 2027-2028 гг.  
По программе NN-взаимодействия будут проведены эксперименты по каналированию пучка после модернизации стенда источника поляризованных дейтронов, - 2024-2025 гг.
- Проведение точных измерений векторных и тензорных поляризаций пучка дейтронов, ускорителя VdG- 2025-2026 гг.
- Подготовка специального устройства для использования нового материала для поляризованной мишени на основе третил-легированного бутанола, - 2025 г.
- Изготовление и монтаж аппаратуры для измерения поляризации нейтронов с использованием рассеяния на мишени  $^4\text{He}$ , - 2026-2027 гг.
- Проведение расконсервирования поляризованной дейтронной мишени и начало измерения разности сечений  $\Delta\sigma_T$  и  $\Delta\sigma_L$  в эксперименте по пропусканию  $nd$  при энергиях нейтронов  $<16$  МэВ, - 2027-2028 гг.

### 2.3. Предполагаемый срок выполнения 5 лет

## 2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ

ЛТФ С.Б. Герасимов

ЛФВЭ В.В. Фимущкин, Л.Кутцова, М.В. Куликов.

## 2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
Чешский технический университет	ЧР	Прага	M. Solar +	Соглашение о сотрудничестве
Университет г.Майнц Университет г.Бонн	Германия Германия Германия	Майнц Майнц Бонн	A2 Collaboration at MAMI. Collaboration P2 MESA Collaboration “Crystal Barrel”	Контракт Контракт Контракт
Институт физики высоких энергий	РФ	Протвино	В.В. Абрамов, А.Н. Васильев, В.В. Мочалов	Договор
МИФИ	РФ	Москва	<u>М.В. Нуришева</u> В.А. Окороков, В.Л. Рыков	
ИЯИ РАН	РФ	Москва	Г.М. Гуревич +	

**2.6. Организации-соисполнители** (те сотрудничающие организации/партнеры без финансового, инфраструктурного участия которых выполнение программы исследований невозможно. Пример — участие ОИЯИ в экспериментах LHC в CERN)

## 3. Кадровое обеспечение

### 3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации

№№ п/п	Категория работника	Основной персонал, сумма FTE	Ассоциированный персонал, сумма FTE
1.	научные работники	8	
2.	инженеры	7	
3.	специалисты	1	
4.	служащие		
5.	рабочие		
	<b>Итого:</b>	<b>16</b>	

### 3.2. Доступные кадровые ресурсы

#### 3.2.1. Основной персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделе ние	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Бажанов Н.А.	ляп снт	нс	1
		Борисов Н.С.	ляп снт	снс	1
		Гапиенко И.В.	ляп снт	мнс	1
		Должиков А.С.	ляп снт	нс	1
		Неганов А.Б.	ляп снт	нс	1
		Плис Ю.А.	ляп снт	снс	0,5
		Усов Ю.А.	ляп снт	нач. сектора	1
		Кашеваров В.Л.	ляп снт	снс	0,5
2.	инженеры	Белов Д.В.	яп снт	инженер	1
		Городнов И.С.	ляп снт	вед. инженер	1
		Иванова Л.В.	ляп снт	инженер	1
		Коломнец В.Г.	ляп снт	инженер	1
		Фёдоров А.Н.	ляп снт	вед. инженер	1
		Придальцев А.А.	ляп снт	инженер	0,5
		Усов Д.Ю.	ляп снт	инженер	0,5
		3.	специалисты	Титенкова Л.В.	ляп снт
4.	рабочие				
<b>Итого:</b>					<b>16</b>

#### 3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	Организация-партнер	Сумма FTE
1.	научные работники		
2.	инженеры		
3.	специалисты		
4.	рабочие		
<b>Итого:</b>			

### Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления Проекта / Подпроекта КИП

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам					
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	
	Международное сотрудничество (МНТС)	220.0	50.0	50.0	50.0	35.0	35.0	
	Материалы	42.0	10.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	96.0	22.0	22.0	22.0	15.0	15.0	
	Пуско-наладочные работы	15.0	9.0	4.0	2.0			
	Услуги научно- исследовательских организаций	9.0	4.0	1.0	1.0	3.0		
	Приобретение программного обеспечения	5,0	2.0	2.0	1.0			
	Проектирование/строительство							
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)							
	Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы					
			– сумма FTE,					
– ускорителя/установки, – реактора,.....								
Источники финансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	387.0	97	87	84	61.0	58.0
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования						

## Project "Novel semiconductor detectors for fundamental and applied research"

G.A. Shelkov, V.A. Rozhkov



Conducting scientific and methodological studies of high-resolution hybrid matrix detectors for high energy physics and the atomic nucleus, as well as semiconductor detectors with increased radiation resistance

Development of scientific cooperation with research institutes to explore the possibility of application developed detectors in other fields of science and technology.

Development of infrastructure for studying the properties of semiconductor detectors, including tests on beam particles for use by JINR groups and institutes of the Member States.

One of the main goal is the creation of an independent detector for medical radiography and tomography, which has new capabilities for measuring the energy of each registered X-ray gamma-quantum.

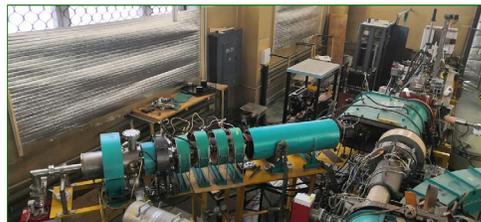
## Development of Scientific DLNP Infrastructure for Research Using Semiconductor Detectors, Laser Metrology, Electrons, Positrons and Cryogenic Technology 04-2-1126-2015/2023

**ЛЯП получает базовую установку - свой собственный ускоритель электронов ЛИНАК-200**, востребованный для научных и прикладных задач (тестирование детекторов частиц, изучение фотоядерных реакций, радиационное материаловедение, радиационная генетика и образовательная деятельность)

**ЛЯП развил и совершенствует собственную уникальную технологию производства лазерных инклинометров**, востребованных в частности, для повышения светимости ускорительных установок и определения зон накопления сейсмической энергии в России, странах участницах и не только.

**ЛЯП имеет и совершенствует собственную уникальную установку для позитронной спектроскопии**, востребованную для исследований структуры различных материалов и дефектов от Российских организаций и от стран участниц ОИЯИ

**ЛЯП имеет большой опыт в создании криогенной техники, поляризованных мишеней, разработках с применением полупроводниковых детекторов нового типа.**



**Thank you for your attention**

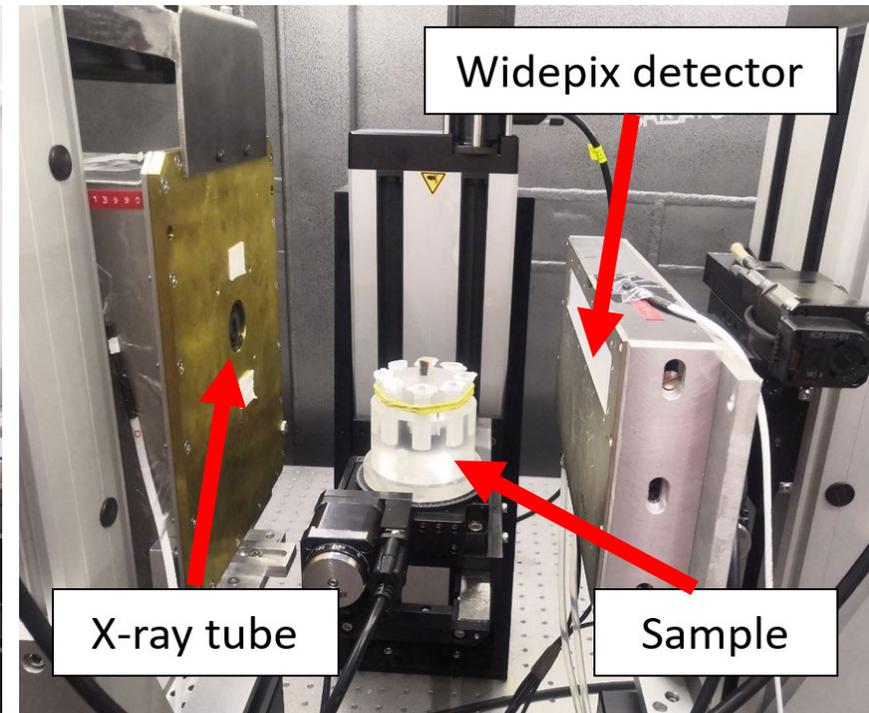


**BACKUP**

# Experimental Microtomograph “Kalan”



The prototype of an X-ray tomograph was created at DLNP

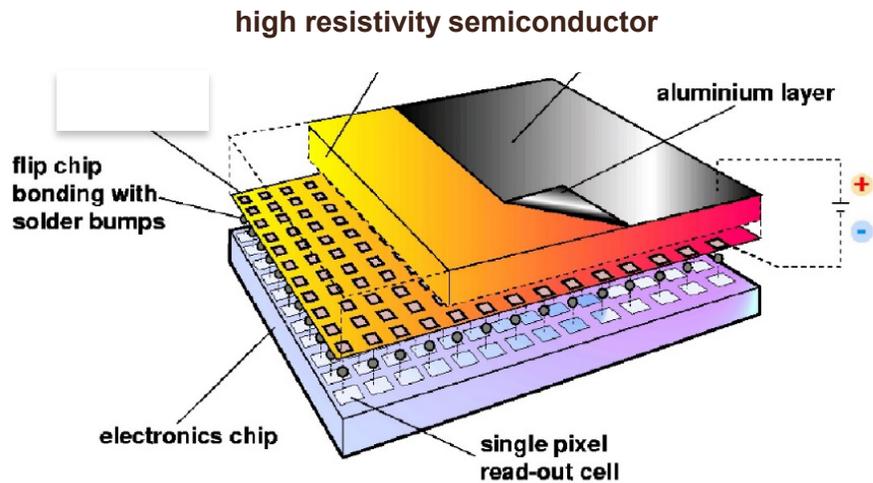


Widepix detector:

- 15 Medipix 3RX in one row
- 256x3840 pixels
- Size of pixel - 55x55 mkm
- Si sensor

The main advantage of hybrid pixel semiconductor detectors is the ability to identify substances on roentgenogram using its ability to measure the energy of recorded  $\gamma$ -quanta.

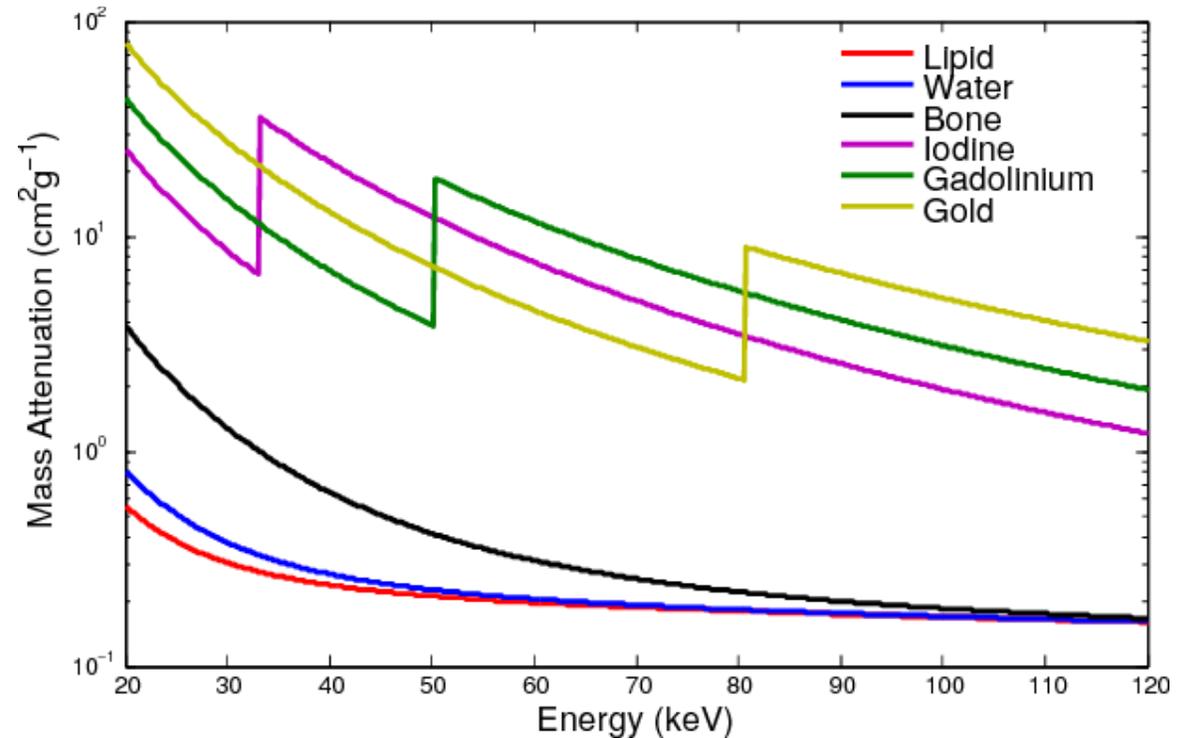
### Hybrid pixel semiconductor detector sketch



Identification substances by the behavior of the absorption cross section in the region of the K-line energy

$$I = I_0 e^{(-\mu\rho x)}$$

$\mu \sim C \cdot Z^4 / E^3$  - mass attenuation

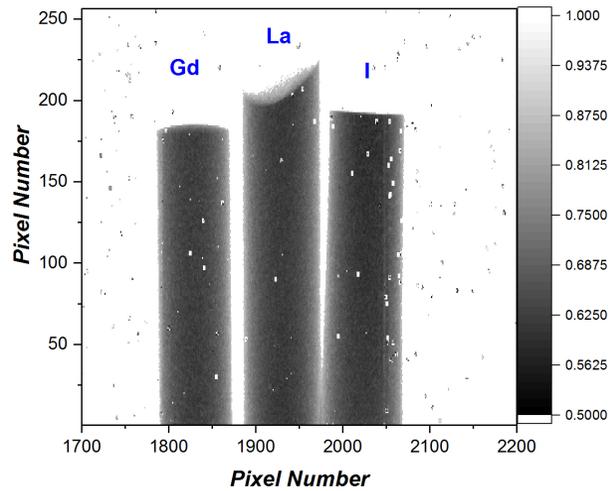


# Identification of substances on 2D radiograms due to the energy information.

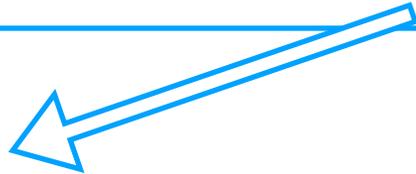
2D X-ray roentgenogram of three plastic tubes D = 5 mm with solutions of different substances. The concentration of the solutions was adjusted so that the absorption coefficients of X-ray in all samples were equal.



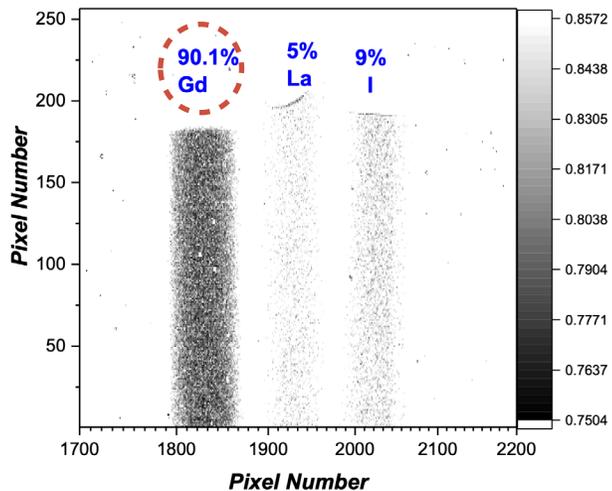
**2D-rentgenogramm**



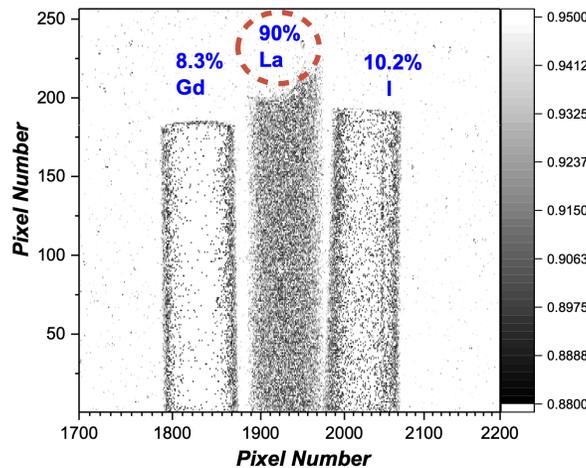
Same frame after application of three different pre-calibrated criteria for identification of sample materials - Gd, La and Iodine. The figures show the percentage of pixels selected by these criteria



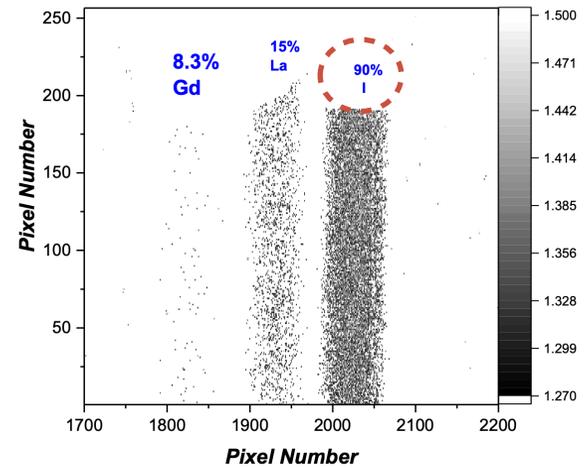
**THL45/THL105**



**THL45/THL85**



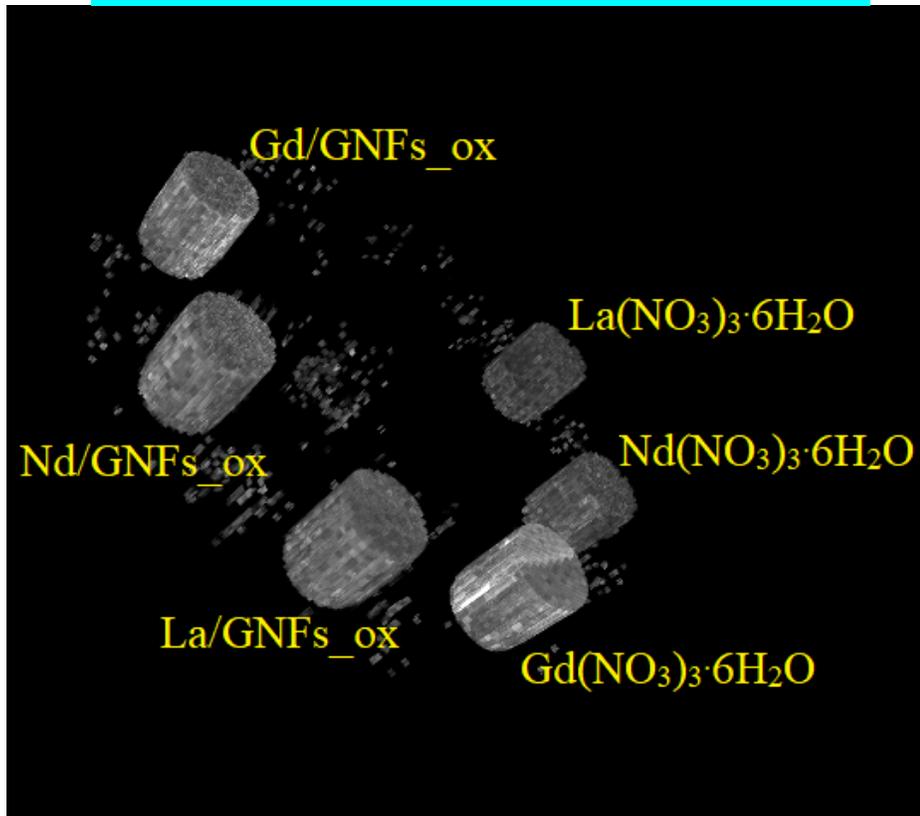
**RUN 354\_THL75/THL115**



# Identification of substances on 3D tomograms.

## Reconstruction of 3D tomograms

Without the use of energy information



Using spectroscopic information

