

НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Тема 04-2-1126-2015/2023

**ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ТЕМЫ И
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ПРОДЛЕНИЮ**

Г.А. Шелков

НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ТЕМЫ в 2017-2020гг.

Руководитель темы: Г.А. Шелков
Заместитель: А.С. Жемчугов

В теме 3 проекта и одна активность:

1. Новые полупроводниковые детекторы для фундаментальных и прикладных исследований.
(Руководитель проекта: Г.А.Шелков, А.С.Жемчугов)
2. Развитие техники эксперимента и прикладные исследования на монохроматических пучках позитронов - PAs. [Семинар 21.03.2020.](#)
(Руководители проекта: А.Г.Кобец, П. Хородек, Научный руководитель И.Н.Мешков)
3. GDH&SPACECHARM (Руководители проекта: Ю.А.Усов, А.Ковлик.) [Продлен до 2022г.](#)
4. Создание установки для проведения измерений с тестовыми пучками электронов в ЛЯП (Линак-200). Руководители [активности](#): В.В.Кобец, М.И.Госткин, Г.Д.Ширков

ПТП ОИЯИ 2020 год

Исучаемая проблема и основная цель исследований

Проведение научно-методических исследований полупроводниковых детекторов с повышенной радиационной стойкостью, а также гибридных матричных детекторов высокого разрешения для физики высоких энергий и атомного ядра.

Развитие инфраструктуры для исследований свойств полупроводниковых детекторов, включая тесты на пучках частиц для использования группами ОИЯИ и институтов стран-участниц.

Развитие научного сотрудничества с исследовательскими институтами для изучения возможности применения разработанных детекторов в других областях науки и техники (в первую очередь в области здравоохранения и горной промышленности).

Ожидаемые результаты по завершению этапов темы или проекта

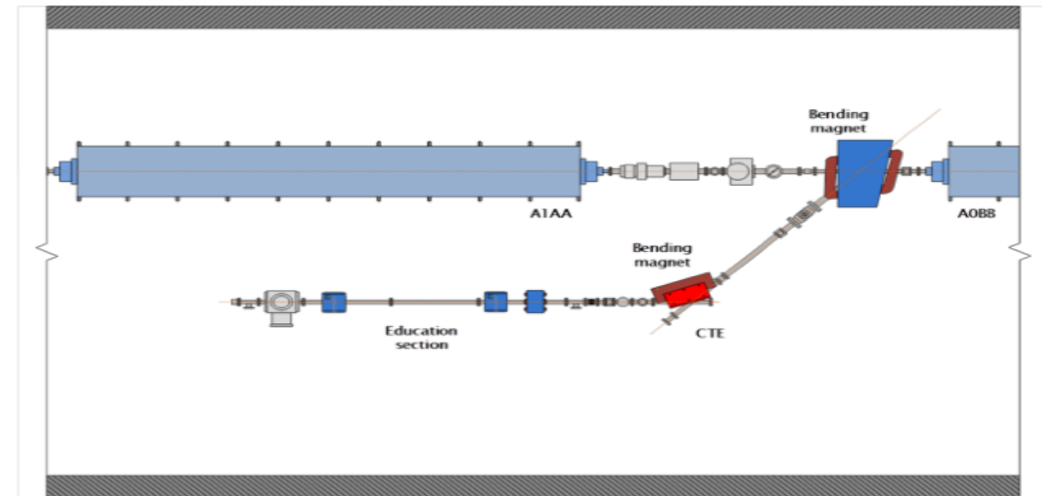
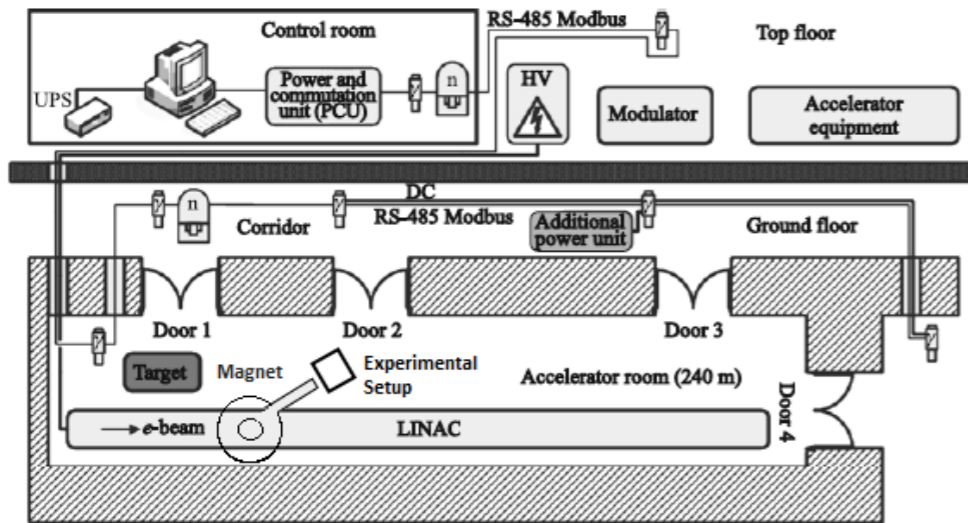
1. Исследование радиационной стойкости GaAs:Fe.
2. Участие в создании модулей калориметра FCAL для будущих коллайдеров.
3. Измерение отклика пиксельных детекторов Timerix и развитие методов идентификации частиц.
4. Усовершенствование существующих стендов по измерению характеристик полупроводниковых детекторов.
5. Создание микротомографа с детектором большой площади и большим геометрическим увеличением.
6. Разработка полнофункционального блока электроники считывания для микросхем Timerix и подготовка к созданию детекторов на базе микросхемы Medipix4.
7. Разработка ПО для моделирования пиксельных детекторов MediPix.
8. Проведение сканирования биоматериала в рамках программы совместных исследований с медиками.
9. Проведение сканирования руд и минерального сырья в рамках программы совместных исследований с геофизиками.
10. Реализация метода СПЕСТ с помощью детекторов MediPix.
11. Ввод в эксплуатацию первой очереди линейного ускорителя электронов.

ПТП ОИЯИ 2020 год

Отчет о выполнении проекта в 2017-2020 гг.

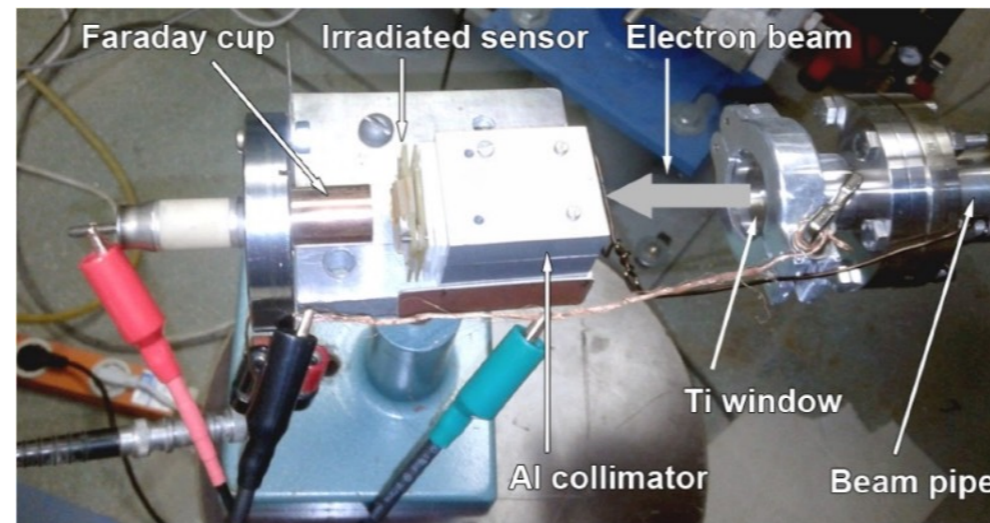
1. Исследование радиационной стойкости GaAs:Fe.

Radiation hardness of GaAs:Cr and Si was investigated on LINAC-200

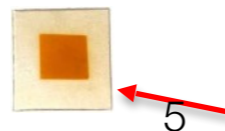
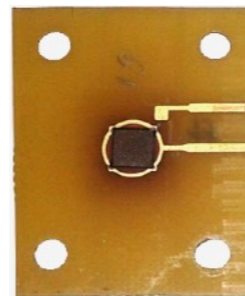


800 MeV electron linear accelerator (LINAC-800) is under construction at JINR. 20 MeV beam channel was used for sensors irradiation. Beam parameters:

- bunch current up to 10 mA,
- duration 2 μ s,
- frequency from 1 to 10 Hz.



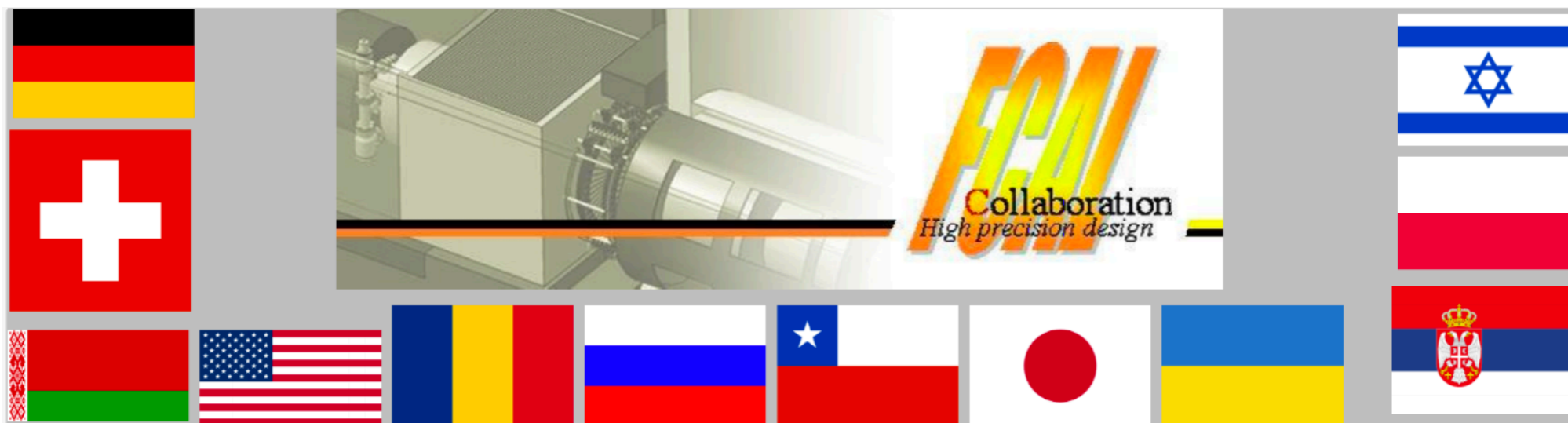
Electron beam is shaped by the collimator 5x5 mm passes through the **5x5 mm sensor**, radiochromic film and finally reaches the copper Faraday cup. Measured beam charge is converted to absorbed dose using GEANT 4 simulation.



Uniformity of beam distribution was controlled by **radiochromic film**

Отчет о выполнении проекта в 2017-2020гг.

2. Участие в создании модулей калориметра FCAL для будущих коллайдеров.



54 members from 14 institutes :

AGH University of science & technology, Krakow, Poland

CERN, Geneva, Switzerland

DESY, Germany

IFJ PAN, PL-31342, Krakow, Poland

ISS, Bucharest, Romania

JINR, Dubna, Russia

National Research Tomsk State University NI TSU, TSU / Russia

NC PHEP, Belarusian State University, Minsk, Belarus

Pontificia Universidad Catolica de Chile, Santiago, Chile

Taras Shevchenko National University of Kiyv, Ukraine

Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

Tohoku University, Sendai, Japan

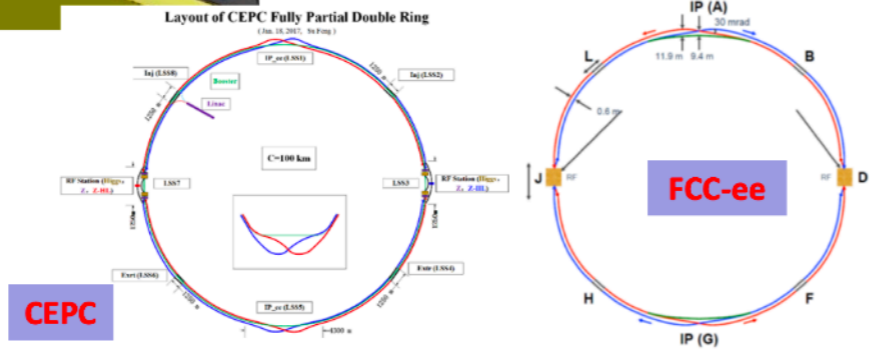
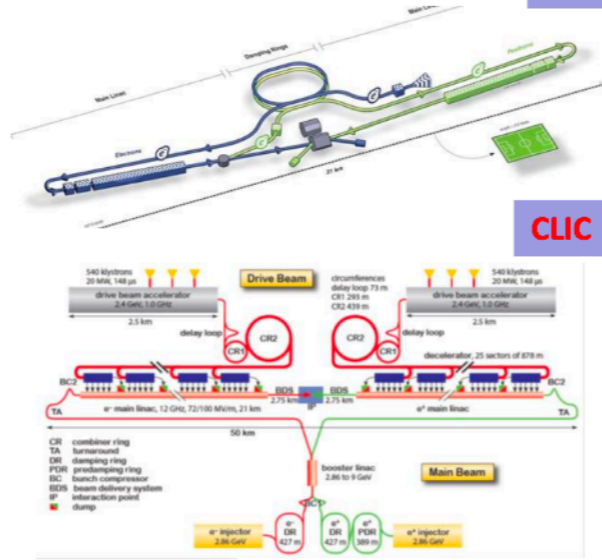
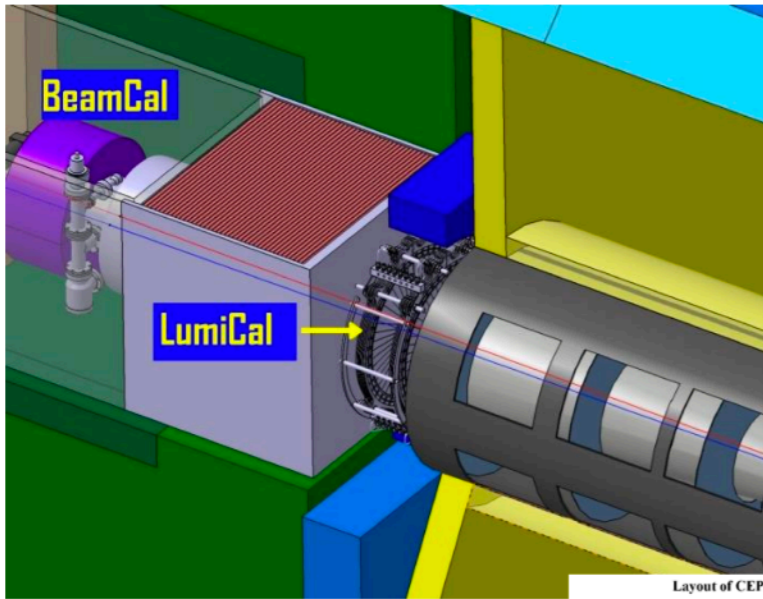
University of California, Santa Cruz, USA

Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Serbia

We are grateful to the support of the BMBF-JINR program for detector R&D.

FCAL is supported by national funding agencies and programs of the European Community.

R&D for special calorimeters in the very forward region of future detectors at an e+e- collider.



- compact,
- precise shower position measurement
- read out very fast
- radiation hardness

LumiCal and BeamCal in future e+e- accelerators

LumiCal provide:

- precise determination of the integrated luminosity by measuring the rate of Bhabha events at low angles.

BeamCal:

- device for fast, bunch-by-bunch crossing luminosity using beamstrahlung. Radiation hardness is an issue.

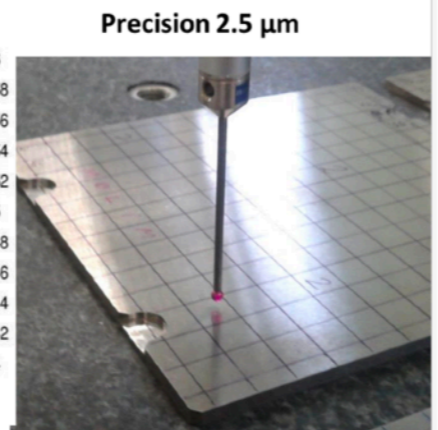
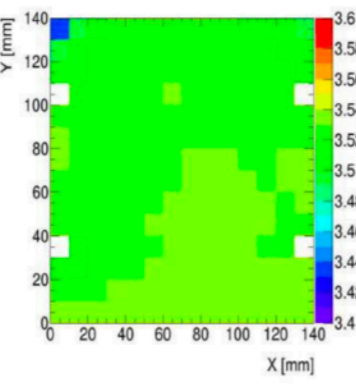
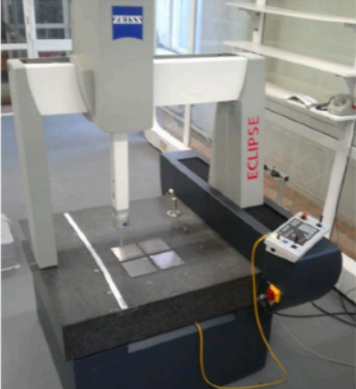
LumiCal and BeamCal:

- improving the hermeticity of the detector by providing electron and photon identification down to polar angles of a few mrad.
- to extend calorimetric coverage to small polar angles. Important for physics analysis.

LumiCal and BeamCal – electromagnetic sampling calorimeters

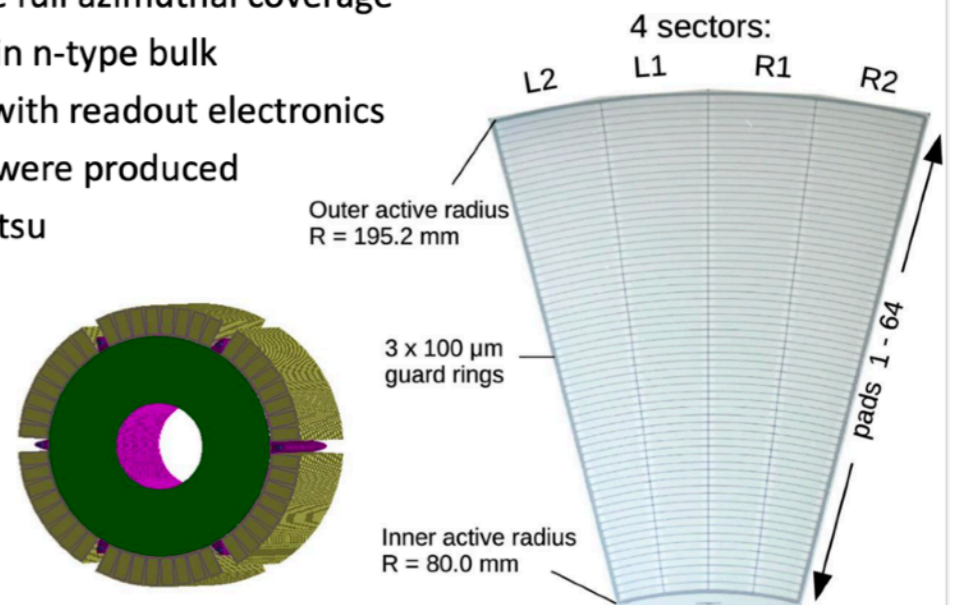
- The technology of a Semiconductor-Tungsten sandwich calorimeter is under investigation:
Sensors for the LumiCal - Si; for the BeamCal GaAs or sapphire.
- layers of 140x140x3.5 mm (1 X₀) thick tungsten plates with 1 mm gap for silicon sensors (30 for ILC, 40 for CLIC)
- Good flatness ~30 μm were achieved

Zeiss 3D coordinate measurement system



LumiCal sensor

- Silicon sensor, 320 μm thickness
- 64 radial pads, pitch 1.8 mm
- 4 azimuthal sectors in one tile, each 7.5 degrees
- 12 tiles make full azimuthal coverage
- p+ implants in n-type bulk
- DC coupled with readout electronics
- 40 modules were produced by Hamamatsu



3. Измерение отклика пиксельных детекторов Timerix и развитие методов идентификации частиц.

Analysis of the Radiation Field in ATLAS Cavern Using 2017-2018 Data from the ATLAS-GaAsPix Network

I. Boyko,^a M. Campbell,^b E. Cherepanova,^a G. Chelkov,^{a,c,d} D. Dedovich,^a B. Di Girolamo,^b A. Gongadze,^a J. Janecek,^e D. Kharchenko,^a U. Kruchonak,^a M. Nessi,^b L. Pontecorvo,^b S. Pospisil,^e Y. Mora Sierra,^e P. Smolyanskiy,^a M. Suk,^e I. Stekl,^e O. Tolbanov,^c A. Tyazhev,^c A. Zarubin,^c

^a*Joint Institute for Nuclear Research,
Dubna, Russia*

^b*CERN,
Geneva, Switzerland*

^c*Tomsk State University, Tomsk, Russia*

^d*Moscow Institute of Physics and Technology,
Dolgoprudny, Russia*

^e*Institute of Experimental and Applied Physics, Czech Technical University in Prague,
Prague, Czech Republic*

E-mail: chelkov@jinr.ru

Текст направлен на согласование
главным соавторам в Прагу 29.01.2020

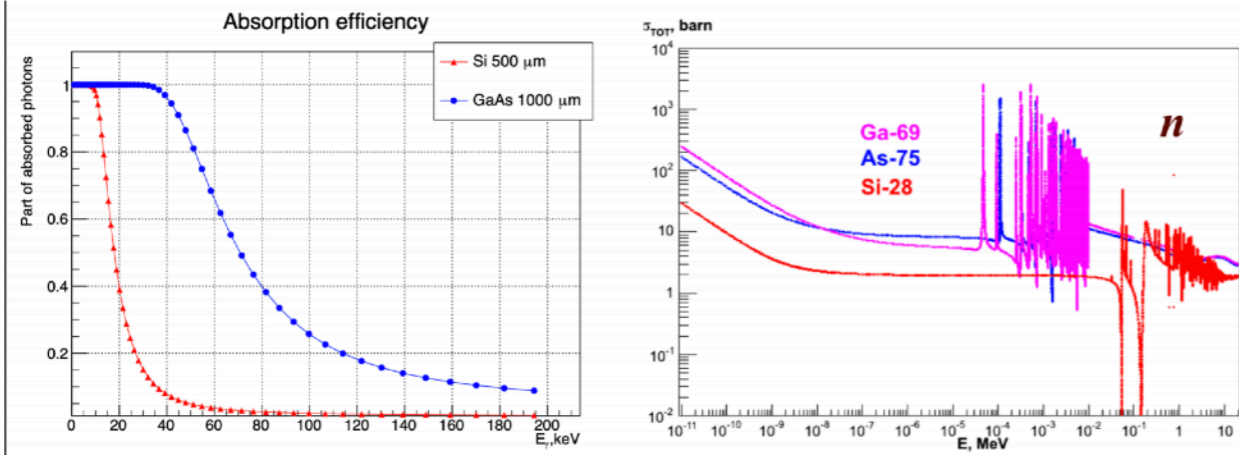


Figure 1. Detection efficiency of 500um Si and 1000um GaAs detectors of γ (left) and neutron (right) cross section of ^{28}Si , ^{69}Ga and ^{75}As dependence on energy γ and neutrons

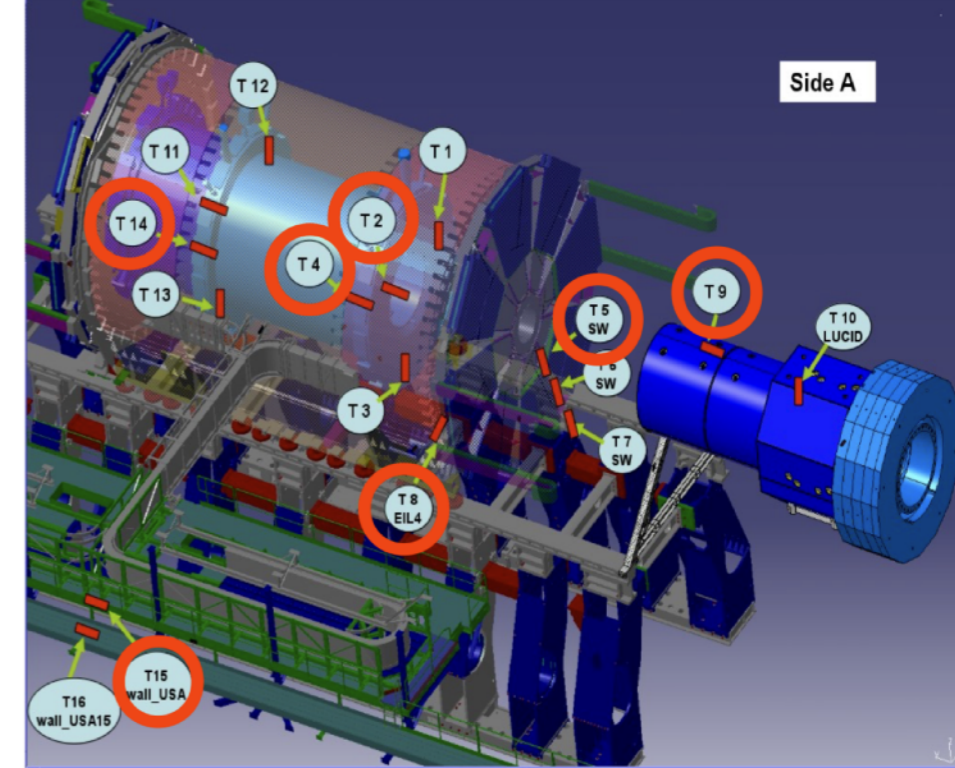
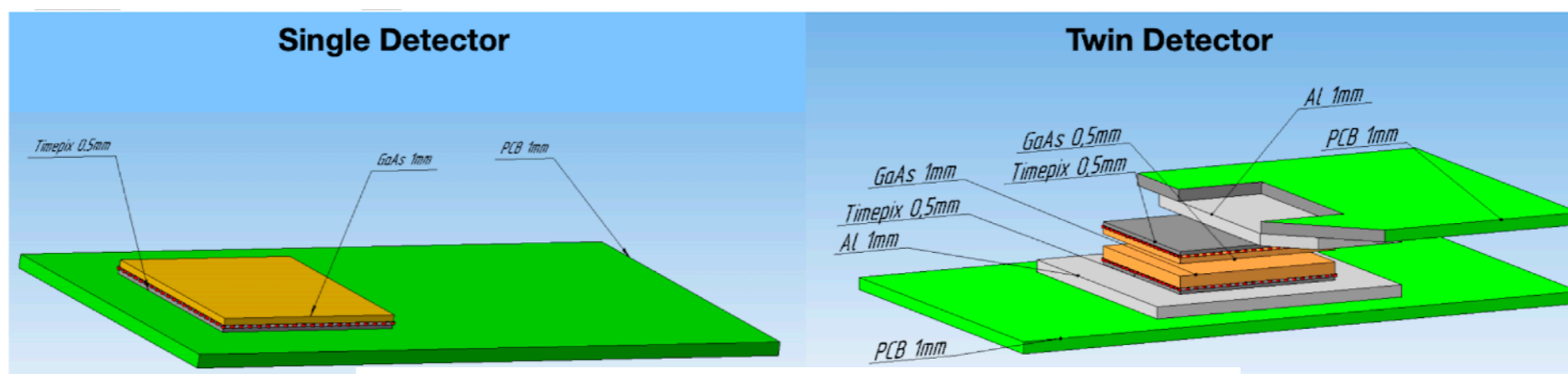
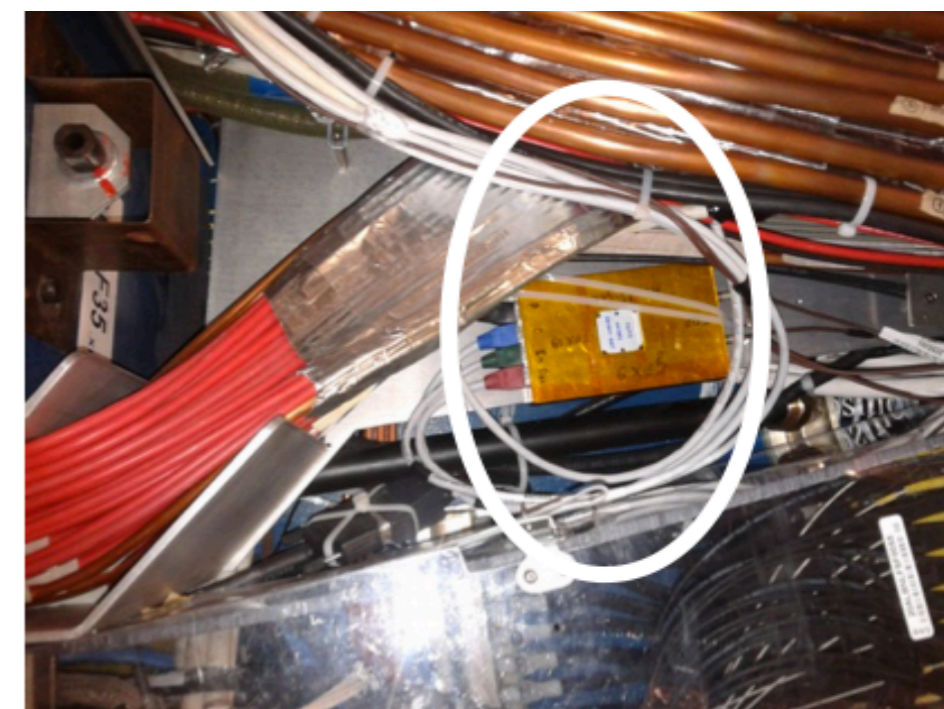


Table 1. The positions of ATLAS-GaAsPix devices in the ATLAS detector cavern.

Detector ID	Sensor thickness, μm	X, m	Y, m	Z, m
GPX1	500	-5.98	0	7.22
GPX2	1000	-5.80	0	7.22
GPX3	1000	-16.69	-0.06	5.07
GPX4	500	0	-0.28	-6.74
GPX5	500	0	1.57	-12.86
GPX6	1000/500	-1.12	-0.21	3.53
GPX7	1000/500	0.65	-1.45	7.8
GPX8	1000/1000	0	1.57	15.09
GPX9	1000/500	-3.46	-0.92	2.84
GPX10	1000/500	-3.46	-0.92	-2.84



The sketch of single and twin detector assemblies



Планы на 2021-23гг.

5. Создание микротомографа с детектором большой площади большой площади и большим геометрическим увеличением.

Для проведения мультиэнергетического томографического сканирования различных объектов с большим геометрическим увеличением в НЭОВП ЛЯП создается микротомограф Калан-2 с вращающимся образцом.



В качестве моторизованных трансляторов и их контроллеров были использована продукция фирмы STANDA. Возможность программирования этих устройств позволяет сконфигурировать установку под конкретный исследуемый образец с минимальными затратами.

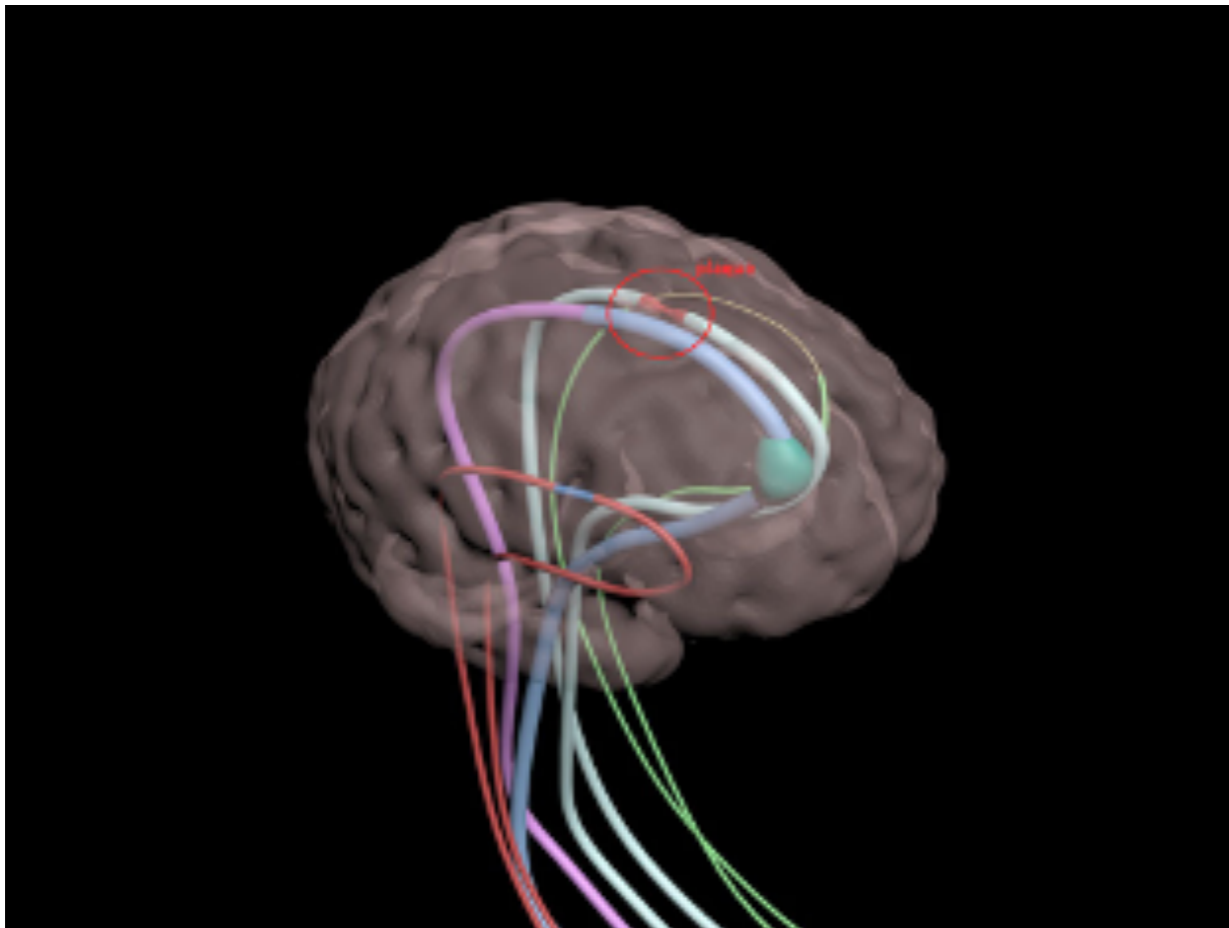
В качестве детектирующей системы для микротомографа Калан-4 в Праге была приобретена рентгенографическая камера Widerix MPX3 1x15 с сенсорами из CdTe толщиной 1 мм. Поле зрения такой камеры составляет 14 мм x 210 мм, а шаг пикселя 55 мкм. Микросхемы Medipix3RX, установленные в этой камере, позволяют определять энергию зарегистрированного γ -кванта и получать «цветные» рентгеновские изображения.

Стандартная система охлаждения была заменена на чиллер фирмы Huber, что позволило установить нижний порог детектора на значении 4 кэВ при стабилизированной температуре 16 градусов. Таким образом, энергетическое разрешение (сигма) детектора составило 1.3 кэВ на энергии 23.17 кэВ.

Для сравнения результатов КТ, получаемых с помощью камер с Medipix и камер, общепринятых на текущий момент в медицине, был заказан детектор со следующими характеристиками: размер пикселя (50x50) мкм²; рабочая область (24x30)см². Энергетический диапазон (10-300) кВ. Пространственное разрешение < 8 пар линий / мм.

Для проведения сравнения на объектах близких к реальным образцам был заказан фантом человеческой головы с различными диаметрами сосудов:

Red - 2mm, Blue – 5mm, Purple - 4mm, Green - 1.5 mm, Gold color - 0.5 mm

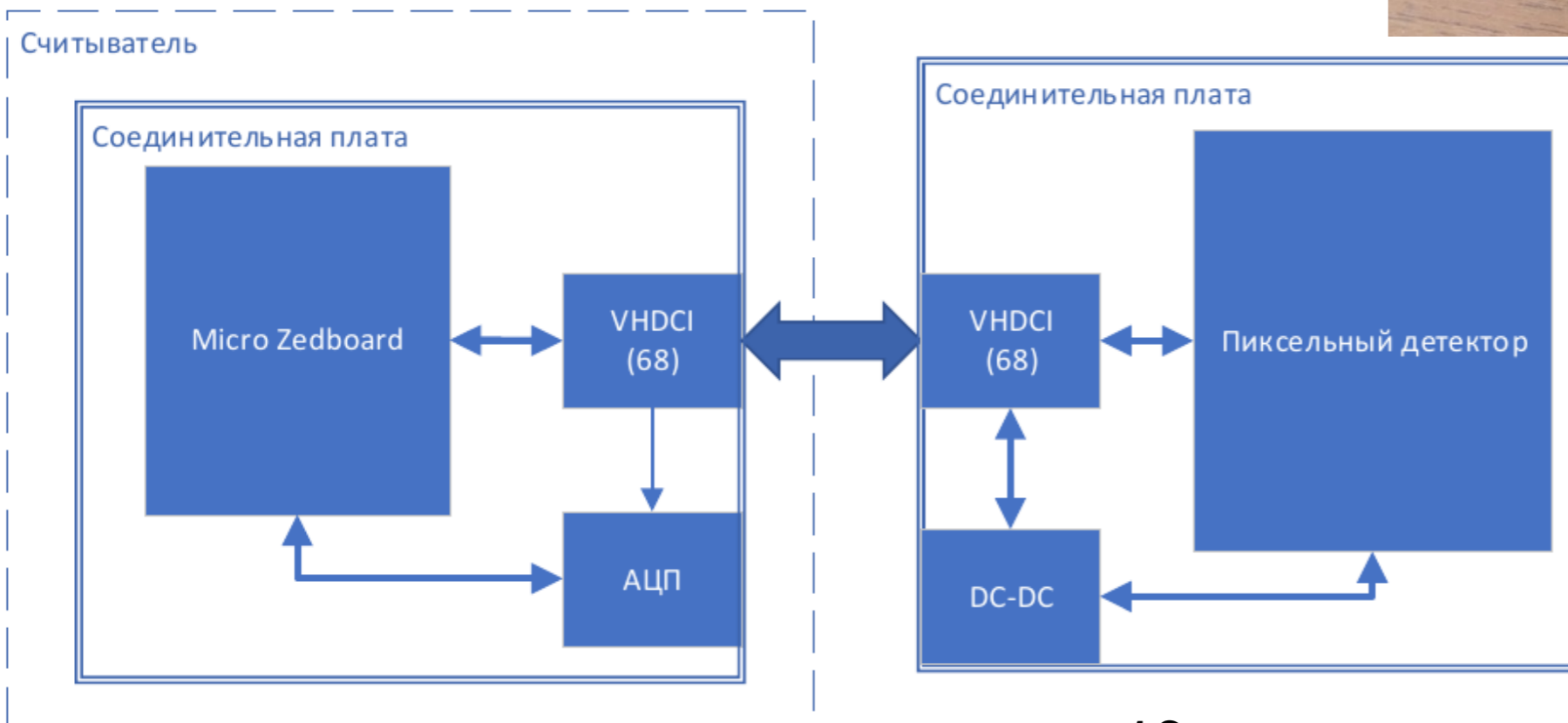
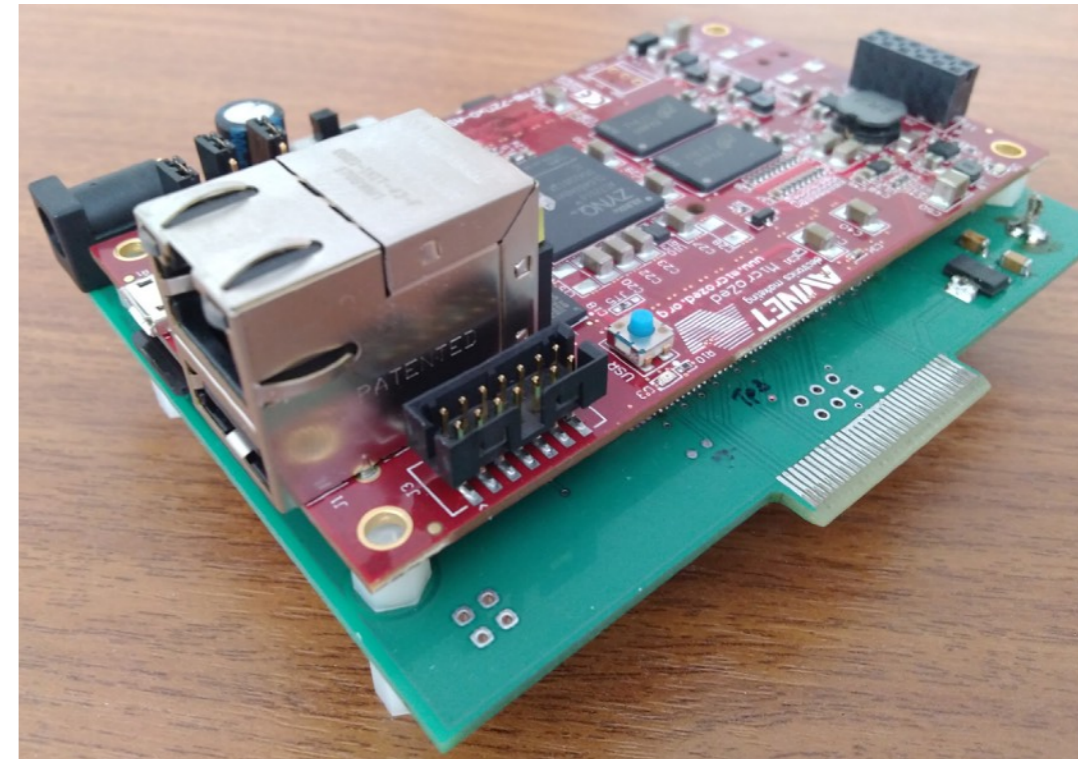


Отчет о выполнении проекта в 2017-2020гг и планы на 2021-23.

6. Разработка полнофункционального блока электроники считывания для микросхем Тiмерiх и подготовка к созданию детекторов на базе микросхемы Тiмерiх4.

Были разработаны прототипы блока управления чипа Тrx на основе различных FPGA и интерфейсов передачи данных.

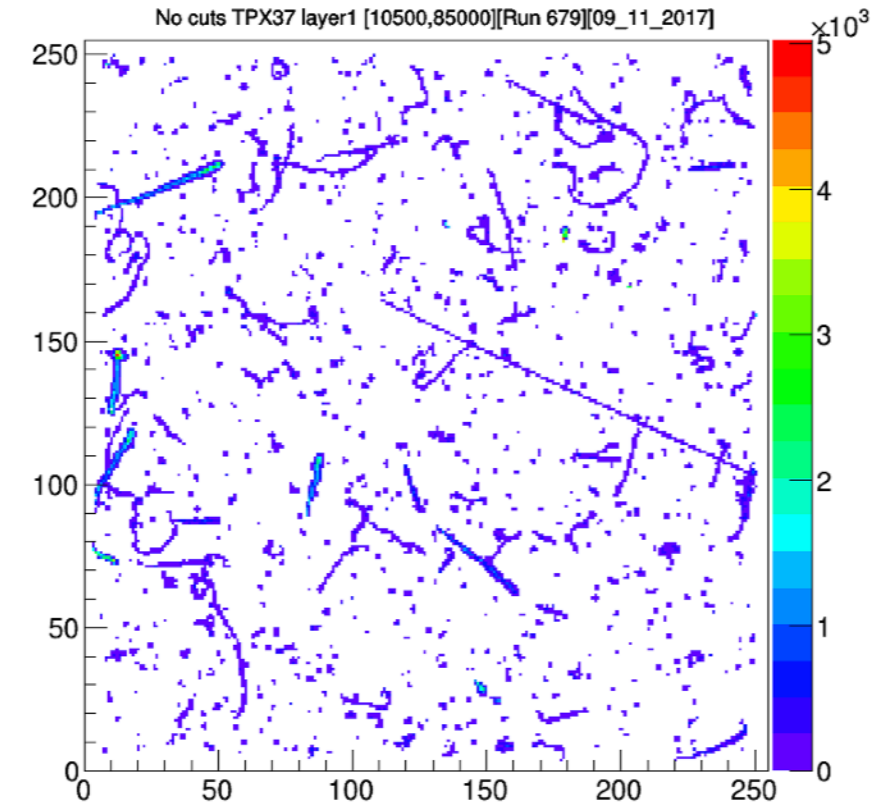
Одним решением стало использование SoC Xilinx семейства Zynq-7000 с передачей данных по стандартному протоколу Ethernet/USB3 под управлением ОС Linux на базе платы MicroZed™.



Подготовка к разработке электроники для микросхемы Timerix4

Другим прототипом стало построение блока управления для самого современного на сегодня чипа Trx3 семейства Medirix.

В основе блока использована FPGA фирмы Intel Cyclone V GT с драйвером высокоскоростной шины PCIe 4x 2.0 на кабель. Это позволило достичь скорости передачи данных в 1.3 ГБайт/с.



Ожидаемая скорость шины передачи данных микросхемы Timerix4 оценивается в 160 Гбит/с или 20 ГБайт/с в связи с чем был разработан алгоритм кластеризации (объединения пикселей, имеющих общую границу, в кластер) в ПЛИС.

В данный момент выполняется работа по составлению технического задания для разработки прототипа электроники микросхемы Timerix4

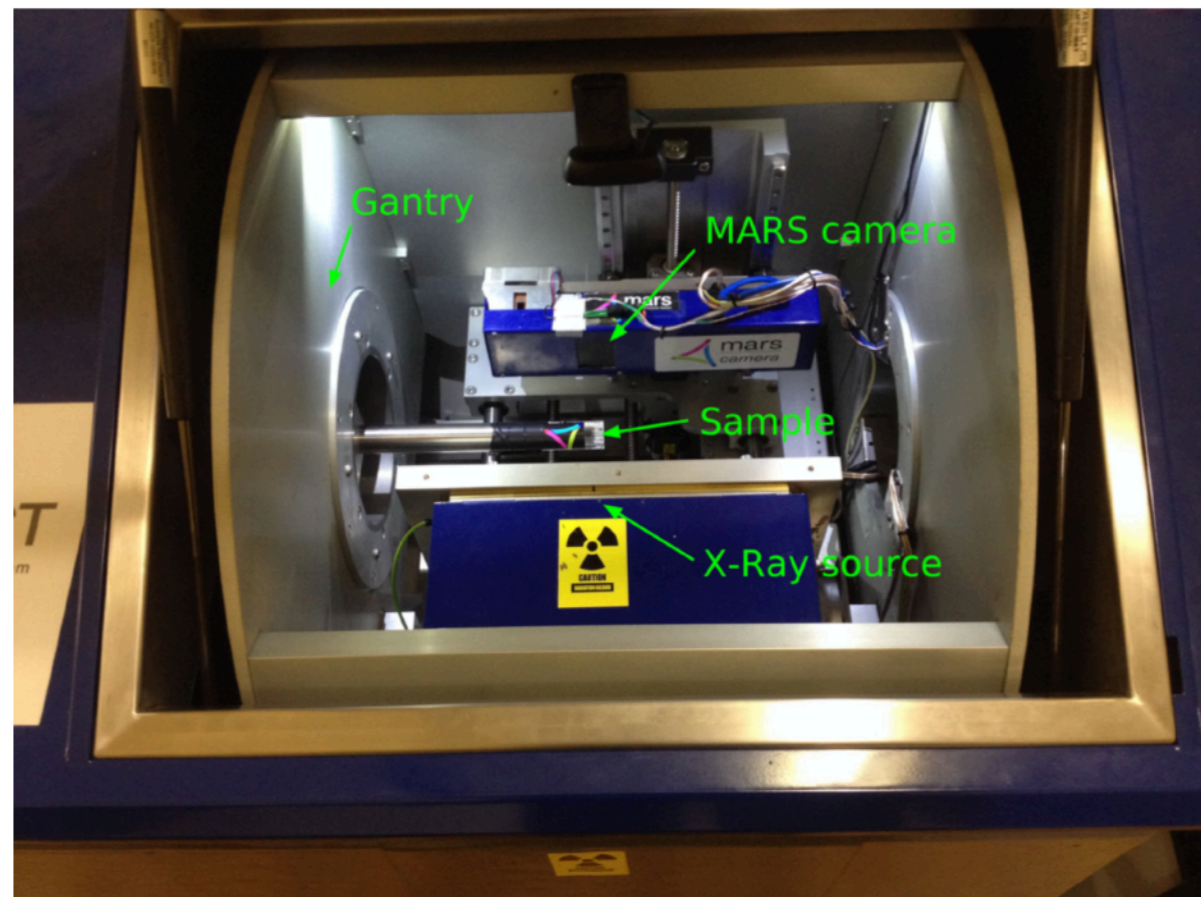
В существующих сегодня аналогичных системах такой опции нет.

Работа направлена на конференцию IWORID-2020.

Отчет о выполнении проекта в 2017-2020 и планы на 2021-23гг.

8. Проведение сканирования биоматериала в рамках программы совместных исследований с медиками.

9. Проведение сканирования руд и минерального сырья в рамках программы совместных исследований с геофизиками.



Публикации 2018-2020

1. H. Abramowicz, A. Abusleme, K. Afanaciev, G. Chelkov, et.al. Measurement of shower development and its Molière radius with a four-plane LumiCal test set-up, //Eur. Phys. J. C (2018) 78:135
2. G.Chelkov, B.Bergmann, S.Kotov, P. Smolyanskiy, U.Kruchonak, D.Kozhevnikov, Y.Mora Sierra, I.Stekl, A Zhemchugov. Properties of GaAs:Cr-based Timepix detectors, // Journal of Instrumentation. Vol. 13, no. 02. T02005. (2018)
3. Savelyeva, E. N., Burikova, T. V., Masagutov, R. K., & Kozhevnikov, D. A. Compacting processes and their effect on reservoir properties of the Pashian horizon in Kitayamskoye field (Russian), // *Oil Industry Journal*, 2018(04), 26-28
4. Kozhevnikov D., Smolyanskiy P. Stack of Timepix-based detectors with Si, GaAs:Cr and CdTe sensors with optimized thickness for spectral CT, // 20th International Workshop on Radiation Imaging Detector, June 24-28, 2018, Sundsvall, Sweden
5. Kozhevnikov D., Smolyanskiy P. Equalization of Medipix family detector energy thresholds using X-ray tube spectrum high energy cut-off, // Journal of Instrumentation. 2019. T. 14. №. 01. C. T01006.
6. F. Dachs, J. Alozy, N. Belyaev, B.L. Bergmann, M. van Beuzekom, T.R.V. Billoud, P. Burian, P. Broulim, M. Campbell, G. Chelkov, M. Cherry, S. Doronin, K. Filippov, P. Fusco, F. Gargano, B. van der Heijden, E.H.M. Heijne, S. Konovalov, X.L. Cudie, F. Loparco et al. Transition radiation measurements with a Si and a GaAs pixel sensor on a Timepix3 chip, // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Vol. 958. 2019
7. M.Krmar, Y.Teterev, A.Belov, S.Mitrofanov, S.Abou El-Azm, M.Gostkin, V.Kobets, U.Kruchonak, A.Nozdin, S.Porokhovoy, M.Demichev. Beam energy measurement on LINAC200 accelerator and energy calibration of scintillation detectors by electrons in range from 1 MeV to 25 MeV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Vol. 935. 2019
8. Abramowicz, H. et al. FCAL Collaboration Performance and Molière radius measurements using a compact prototype of LumiCal in an electron test beam. Eur. Phys. J. C 79 (2019) 579

Патенты 2018-2020

1. Абдельшакур С., Демичев М.А., Жемчугов А.С., Кожевников Д.А., Котов С.А., Кручонок В.Г., Смолянский П.И., Шелков Г.А.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПИКСЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР ЗАРЯЖЕННЫХ СИЛЬНО ИОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ (МНОГОЗАРЯДОВЫХ ИОНОВ),
Патент (RU) 2659717, от 03.06.2018, ОИЯИ.

2. Жемчугов А.С., Кожевников Д.А., Котов С.А., Кручонок В.Г., Лейва Ф.А., Смолянский П.И., Шелков Г.А.

ПЛАНАРНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДЕТЕКТОР,
Патент (RU) 2672039, от 08.11.2018, ОИЯИ.

Защиты диссертаций

1. П.И.Смолянский кфмн (01-04-01) 2018 *(руководитель А.С.Жемчугов)*

«Изучение пиксельных арсенид-галлиевых детекторов на основе микросхемы Timerix»

2. Д.А.Кожевников кфмн (01-04-01) 2019 *(руководитель Г.А.Шелков)*

«Развитие метода мультэнергетической рентгеновской томографии с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix»

Дипломы Магистров

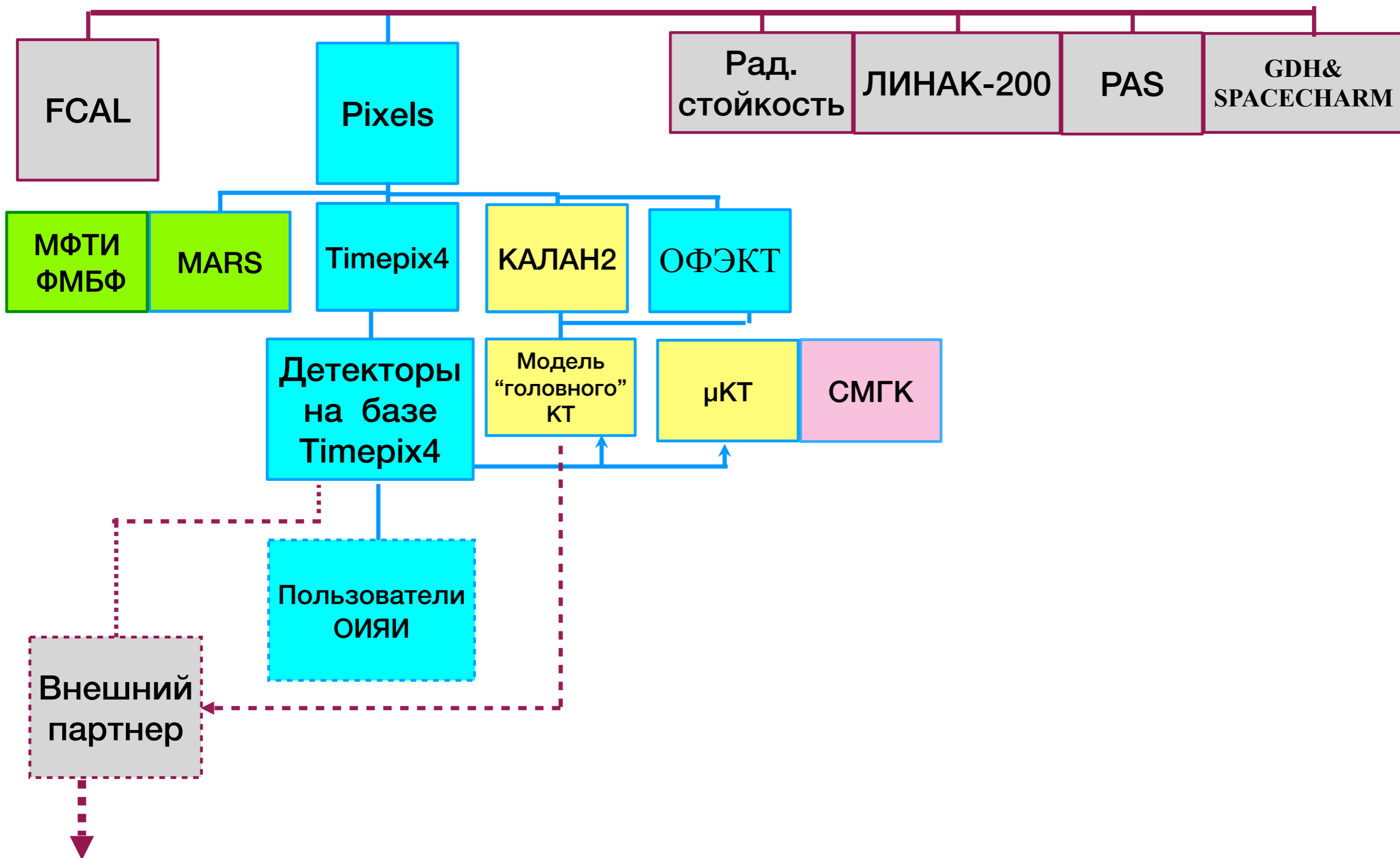
1. Е.А.Черепанова (МФТИ) 2019 *(руководитель Г.А.Шелков)*

«Анализ структуры радиационного фона в подземном зале установки ATLAS на основе данных с детекторов системы ATLAS-GaAsPix»

2. В. Андрияшен (МФТИ) 2019 *(руководитель А.С.Жемчугов)* «Разработка метода мультэнергетической итеративной томографической реконструкции»

План на 2021-2023

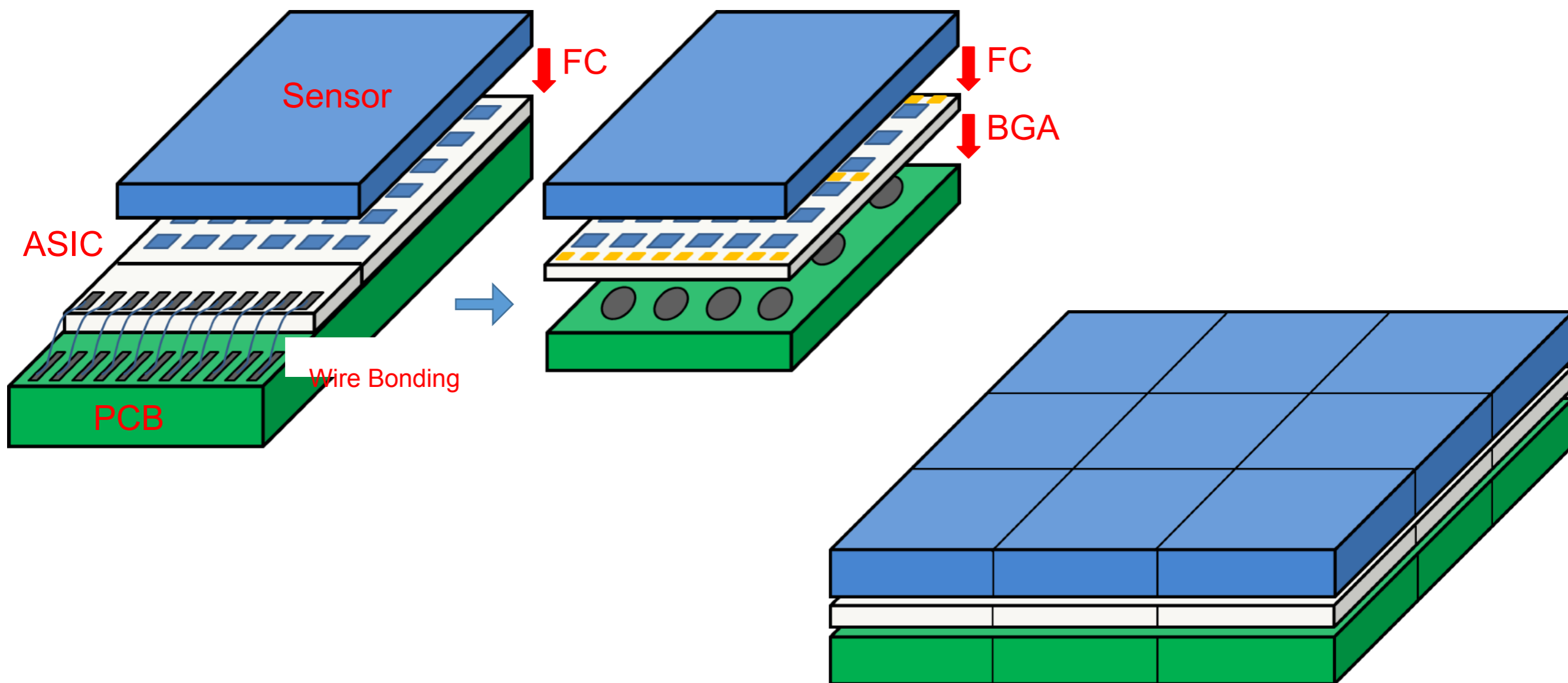
Новые полупроводниковые детекторы для фундаментальных и прикладных исследований.



Timepix3 → Timepix4

			Timepix3 (2013)	Timepix4 (2019)
Technology			130nm – 8 metal	65nm – 10 metal
Pixel Size			55 x 55 μm	55 x 55 μm
Pixel arrangement			3-side buttable 256 x 256	4-side buttable 512 x 448 3.5x
Sensitive area			1.98 cm^2	6.94 cm^2
Readout Modes	Data driven (Tracking)	Mode	TOT and TOA	
		Event Packet	48-bit	64-bit
		Max rate	0.43x10 ⁶ hits/mm ² /s	3.58x10⁶ hits/mm²/s 33%
		Max Pix rate	1.3 KHz/pixel	10.8 KHz/pixel 8x
Frame based (Imaging)	Mode	PC (10-bit) and iTOT (14-bit)	CRW: PC (8 or 16-bit)	
	Frame	Zero-suppressed (with pixel addr)	Full Frame (without pixel addr)	
	Max count rate	$\sim 0.82 \times 10^9$ hits/mm ² /s	$\sim 5 \times 10^9$ hits/mm ² /s	
TOT energy resolution			< 2KeV	< 1Kev 5x
TOA binning resolution			1.56ns	195ps 2x
TOA dynamic range			409.6 μs (14-bits @ 40MHz)	1.6384 ms (16-bits @ 40MHz) 8x
Readout bandwidth			$\leq 5.12\text{Gb}$ (8x SLVS@640 Mbps)	$\leq 163.84\text{ Gbps}$ (16x @10.24 Gbps) 4x
Target global minimum threshold			<500 e ⁻	<500 e ⁻ 32x

4-side butttable pixel arrangement



- Target to build **large area detectors** by combining smaller modules
- The through-silicon vias (TSVs) is the key technology for this paradigm shift

Timepix4 applications

- Data-Driven applications:
 - HEP:
 - Very high rate pixel telescope
 - Sensor studies (high speed)
 - Beam gas interaction (PS SPS/LHC?)
 - AeGIS/ASACUSA
 - ATLAS background rad monitor and TRD detector
 - MOEDAL
 - GEMPIX / large area TPC
 - Test vehicle for next gen LHCb-VELO with tens of ps time resolution
 - Time-of-flight mass spectrometry
 - Neutron time-of-flight imaging
 - Radiation monitors
 - Electron microscopy
 - X-ray and powder diffraction
 - Compton camera for medical diagnostics
 - Sub-pixel resolution imaging
 - Gamma and neutron imaging for nuclear industry and Homeland Security
- Frame-based imaging applications:
 - X-ray imaging in synchrotrons with extreme high rates $> 10^9$ particles/mm²/s
- 20th Anniversary Symposium on Medipix and Timepix
 - <https://indico.cern.ch/event/782801/>

План на 2021-2023 гг.

FCAL

Создание полномасштабного прототипа модуля FCAL;
Участие в разработке адекватной электроники;
Проведение испытаний на пучке в DESY.

Pixels

Разработка детекторов, электроники и ПО для Tiberix4;
Создание прототипов ПО для “головного” КТ и μ КТ;
Организация совместной работы с:
- биофизиками МФТИ на микротомографе MARS;
- генетиками ЛЯП на μ КТ;
Разработка и создание системы ОФЭКТ/КТ.

Рад. СТОЙКОСТЬ

Совместно с физиками Томска создание радиационно стойких образцов GaAs сенсоров;
Измерение рад. стойкости этих образцов на пучках нейтронов и электронов в ОИЯИ;

ЛИНАК 200

Ввод в эксплуатацию линейного ускорителя электронов ЛИНАК-200

Планы на 2021-2023 годы.

1. Создание радиационно-стойких полупроводниковых материалов для детекторов частиц.
 - a. Продолжить совместно с физиками Томска поиск радиационно стойких модификаций GaAs, включая измерение их радиационной стойкости на пучках нейтронов и электронов в ОИЯИ;
2. Создание полномасштабного прототипа модуля компактного радиационно стойкого электромагнитного калориметра совместно с коллаборацией FCAL.
3. Создание пиксельных детекторов и систем с их использованием.
 - a. Разработка детекторов, электроники на основе FPGA и ПО для Timepix4.
 - b. Создание прототипов и нового программного обеспечения для “головного” томографа и томографа с высоким разрешением (~ 10 микрон).
 - c. Организация совместной работы:
 - i. с биофизиками МФТИ на микротомографе MARS.
 - ii. с генетиками ЛЯП на миротомографе высокого разрешения.



	1-st year			2-nd year			3-d year		
Radiation resistant semiconductors									
New semiconductor material samples		█			█			█	
Test cycle at reactor and Linac-200		█		█		█		█	
Data analyses	█	█	█	█	█	█	█	█	█
FCAL R&D									
RO system design and test	█	█	█	█	█	█			
Sector module R&D and design		█	█	█	█	█	█		
Beam test			█			█			█
Timepix4 R&D									
FPGA-based electronics and software	█	█	█	█	█	█			
Detector R&D		█	█	█	█	█			
Detector sample construction & test							█	█	█
Full scale “head” CT prototype									
R&D and design	█	█	█	█	█	█			
Construction & test			█	█	█	█	█	█	█
High space resolution CT									
R&D and design			█	█	█	█			
Construction & test						█	█	█	█
Research with MIPT Bio on the MARS CT			█	█	█	█	█	█	█

**Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления
проекта: Новые полупроводниковые детекторы для фундаментальных и
прикладных исследований**

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования			Стоимость узлов установки. Потребности в ресурсах (тыс.\$)	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов		
				1 год	2 год	3 год
Основные узлы и оборудование	Микросхемы ТРХ4, создание прототипов детекторов, НИР и НИОКР		180	60	60	60
	Развитие стенда Калан2 и вычислительная инфраструктура		110	40	40	30
	Микрофокусная рентгеновская трубка, и оборудование для микрофокусного КТ		200	120	40	40
	Измерительное оборудование		40	10	20	10
<u>Материалы</u>	Сенсоры из полупроводников		60	20	20	20
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы ОП ЛЯП	10	700	700	700
	Тыс. \$	Участие в test-beams, рабочих совещаниях и конференциях	90	30	30	30
Источники финансирования	Бюджетные средства	Затраты из бюджета, в том числе инвалютные средства	680	280	210	190
	Внебюджетные средства	Вклады коллаборантов. Вклады спонсоров. Средства по договорам. Другие источники финансирования и т.				

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

Г.А.Шелков

Список участников проекта.

Среди исполнителей проекта от ЛЯП с долей участия свыше 20% четыре кандидата физ. мат. наук с большим опытом создания детекторов частиц, включая пиксельные полупроводниковые детекторы. Имеется опыт создания программ моделирования работы п/п детекторов и работы с рентгеновскими томографами, включая их калибровку и создания для них программного обеспечения. В коллективе есть молодые сотрудники.

#	ФИО	Лаборатория	Задачи	FTE
1	Шелков Г.А.	ЛЯП	Руководитель проекта	0,8
2	Ахмедов А.А.	ЛНФ	Тесты на пучках ИБР-2	0,1
3	Гонгадзе А.	ЛЯП	Исследование детекторов	0,1
4	Госткин М.И.	ЛЯП	Зам.Руководителя FCAL группы	0,6
5	Жемчугов А.С.	ЛЯП	Руководитель FCAL группы	0,1
6	Исатов А.Т.	ЛЯР	Тесты на пучках ЛЯР	0,2
7	Кручонок В.Г.	ЛЯП	Радиационные тесты. Электроника	0,6
8	Кожевников Д.А.	ЛЯП	КТ, ПО, MARS	0,2
9	Копач Ю.Н.	ЛНФ	Тесты на пучках ИБР-2	0,1
10	Кузнецов Н.К.	ЛЯП	Инженер	0,5
11	Лапкин А.В.	ЛЯП	FPGA электроника для Tomerix4	1
12	Лейва А.	ЛЯП	Компьютерное моделирование	0,8
13	Митрофанов С.В.	ЛЯР	Тесты на пучках ЛЯР	0,2
14	Пороховой С.И.	ЛЯП	Детекторы, тесты на пучках	0,1
14	Расторгуев Д.Д.	ЛЯП	Детекторы, моделирование	1
15	Рожков В.А.	ЛЯП	Зам.руководителя проекта	1
16	Руденко Т.О.	ЛЯП	Инженер электроника	0,2
17	Смолянский П.И.	ЛЯП	Руководитель группы детекторов	0,8
18	Тележников С.Ю.	ЛНФ	Тесты на пучках ИБР-2	0,1
19	Тетерев Ю.Г.	ЛЯР	Тесты на пучках ЛЯР	0,2
20	Черепанова Е.А.	ЛЯП	MARS, GaAsPix, обработка данных	0,8
21	Шакур А	ЛЯП	Радиационные тесты. Измерения в ЛЯР	0,8
			Сумма ЛЯП	9,4
			Сумма	10,3

Краткий ССВУ – анализ.

Сильные стороны проекта. У авторов есть значительный опыт и наработки, позволяющие выполнить задачи проекта. ОИЯИ обладает ускорителями и реактором, позволяющие проводить необходимые тесты. ОИЯИ обладает необходимой инфраструктурой и значительной частью необходимого оборудования. Авторы имеют давние и продуктивные связи с коллегами, включая коллег смежных специальностей, как в Российской Федерации, так и за рубежом.

Слабые стороны проекта. Необходимость привлечения к совместным НИР и НИОКР разработкам специалистов дефицитных IT специальностей.