



Проект орбитальной гамма-обсерватории «ГАММА-400»: состояние и перспективы

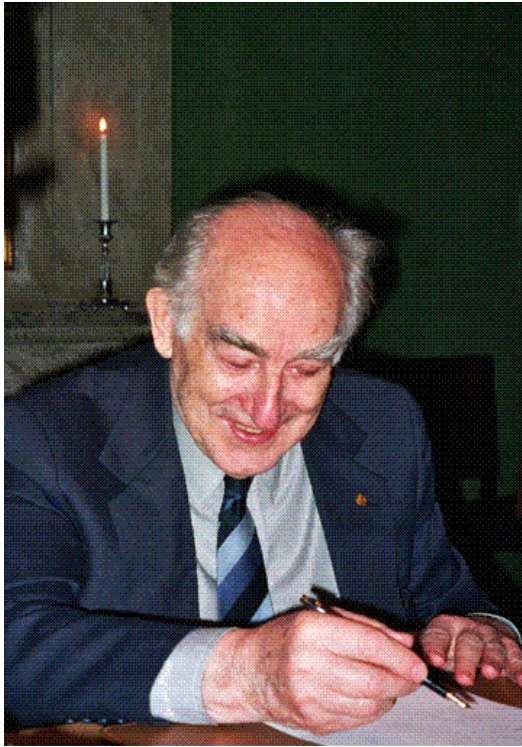
А.И. Архангельский^{1,*}, И.В. Архангельская¹, А.В. Бакалдин³,
И.В. Чернышева¹, О.Д. Далькаров¹, А.Е. Егоров², М.Д.
Хеймиц¹, М.Г. Коротков¹, А.А. Леонов^{1,2}, А.Г. Малинин¹, В.В.
Михайлов¹, П.Ю. Минаев⁴, Н.Ю. Паппе², М.В. Разумейко², С.И.
Сучков², Ю.Т. Юркин¹.

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук, Москва, Россия

³Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской
академии наук, Москва, Россия

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований
Российской академии наук, Москва, Россия



В.Л. Гинзбург



Л.В. Курносова



А.М. Гальпер

Основателями проекта «ГАММА-400» были академик В.Л. Гинзбург и профессор ФИАН Л.В. Курносова. С 2009 г. научным руководителем ГАММА-400 являлся профессор НИЯУ МИФИ А.М. Гальпер.

**Первые материалы по ГАММА-400 были представлены:
Proc. 20th ICRC (Moscow, 1987) и
Space Science Reviews, 49, 215 (1988)**

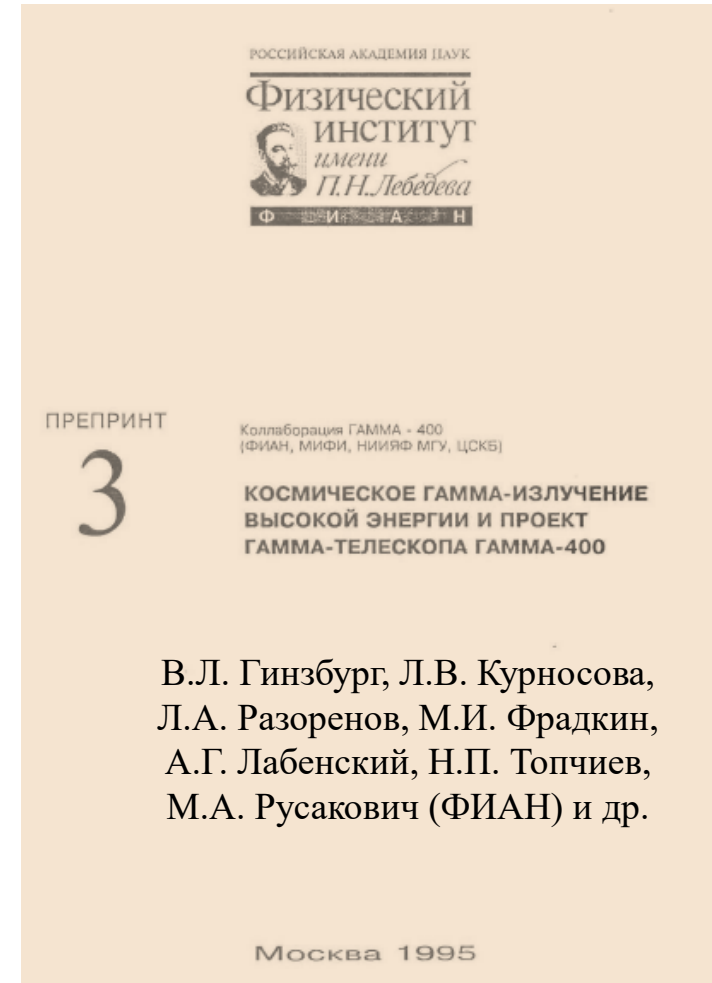
**SOME TASKS OF OBSERVATIONAL GAMMA-RAY
ASTRONOMY IN THE ENERGY RANGE 5–400 GeV**

V. A. DOGIEL, M. I. FRADKIN, L. V. KURNOSOVA, L. A. RAZORENOV,
M. A. RUSAKOVICH, and N. P. TOPCHIEV

*P. N. Lebedev Physical Institute of the Academy of Sciences of the USSR, Leninsky pr., 53,
117924, Moscow, U.S.S.R.*

(Received 1 June, 1988)

Abstract. Brief discussion of the necessity to carry out gamma-ray observations in the uninvestigated energy range 5–400 GeV by instrument on the board of space vehicle is given. One of the possible versions of such gamma-telescope is described and some estimations of the possible statistics are made.



**ГАММА-400 – Гамма-Астрономическая Многофункциональная Модульная
Аппаратура; 400 – первоначальная верхняя граница энергетического диапазона**

В соответствии с Федеральными космическими программами РФ на 2009-2015 гг. и 2016-2025 гг. создается космический комплекс «ГАММА-400», включающий космическую обсерваторию для исследования гамма-излучения в диапазоне высоких энергий

32. Создание космического комплекса, включающего космическую обсерваторию для исследований гамма-излучения в диапазоне высоких энергий (ОКР "Гамма-400").

Заказчик: федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук"

космический комплекс "Гамма-400", включающий космическую обсерваторию с высоким угловым и энергетическим разрешением, обеспечивающий получение данных для определения природы "темной материи" во Вселенной, развития теории процессов в активных астрофизических объектах, происхождения высокоэнергичных космических лучей и физики элементарных частиц

срок активного существования космического аппарата - не менее 7 лет

Запуск космической обсерватории намечен на ~2030 г.

Этапы проекта

1999-2008 гг. – НИР по договорам с Роскосмос.

2009-2010 гг. – ОКР Эскизный проект.

2011-2012 гг. – ОКР Дополнение к эскизному проекту 1.

2013-2014 гг. – ОКР Технический проект.

2016-2021 гг. – ОКР Дополнение к эскизному проекту 2.

В 2021 г. был завершен этап «Разработка дополнения к эскизному проекту (ДЭП)» по контракту с Госкорпорацией «Роскосмос».

Разработку выполняли: ФИАН (головная организация), НИЯУ МИФИ, ИКИ РАН, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, АО «НПО Лавочкина». Материалы ДЭП прошли успешную экспертизу АО «ЦНИИмаш», АО «Организация АГАТ», ФГУП «НПО «Техномаш», АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения», АО «Композит». Материалы ДЭП были рассмотрены комиссией Госкорпорации «Роскосмос» и сделан вывод, что ДЭП считать выполненным и следует перейти на следующий этап – разработка рабочей конструкторской документации (финансирование планируется с 2026 г.).

По результатам ДЭП-2 в состав космической обсерватории ГАММА-400 входят:

космическая платформа «Навигатор»

(ведущая организация АО «НПО Лавочкина»)

и

комплекс научной аппаратуры (КНА) «ГАММА-400»

(ведущая организация – ФИАН) в составе:

- гамма-телескоп ГАММА-400

(ФИАН, НИЯУ МИФИ, НИИСИ РАН, АО «НПО Лавочкина»).

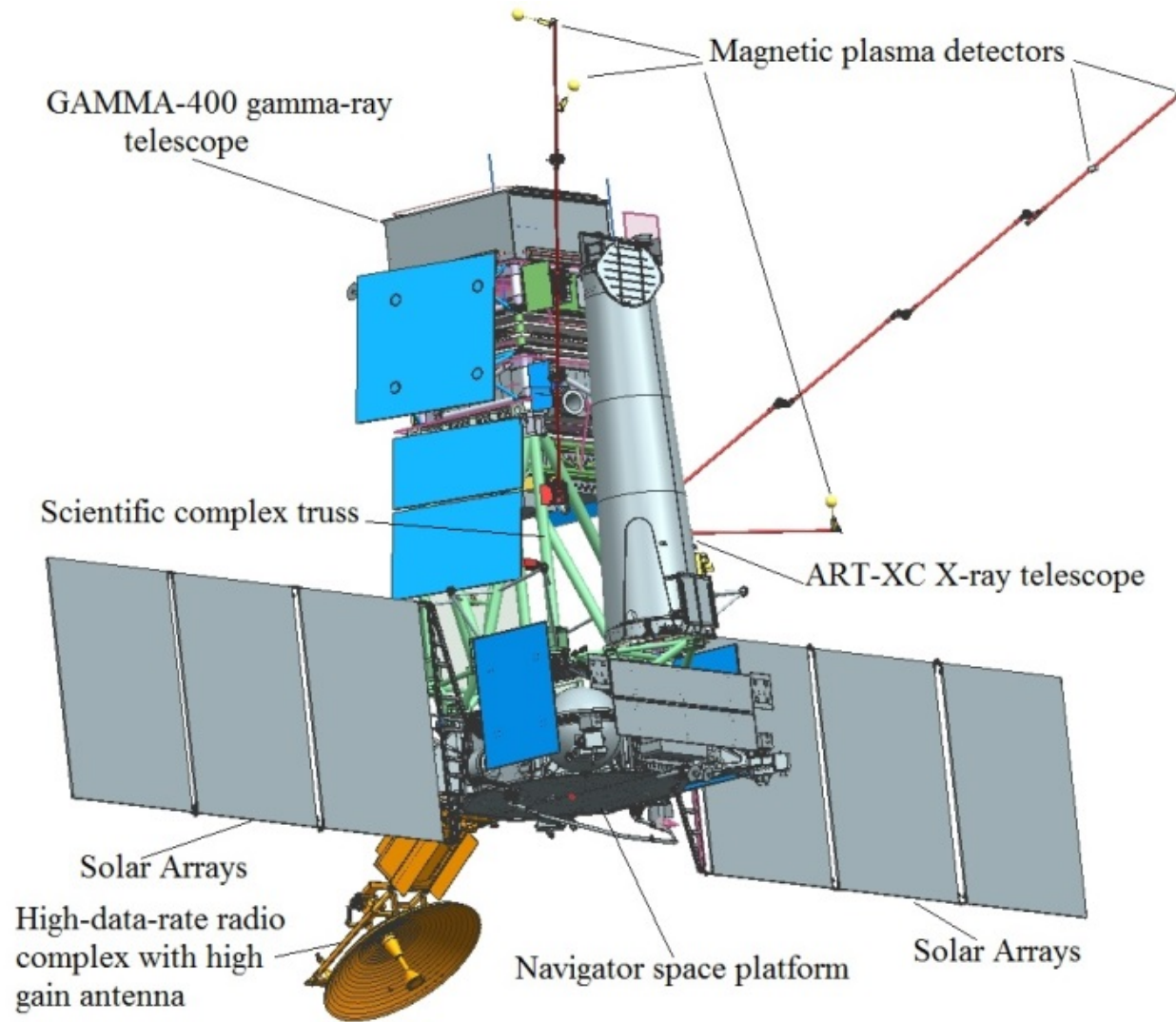
Дополнительно включены в состав КНА:

- рентгеновский телескоп ART-XC (5-30 кэВ) (ИКИ РАН)

- магнитно-плазменные детекторы ПЛАЗМА-400

(спектрометр солнечного ветра, спектрометр энергичных частиц, магнитометр - ИКИ РАН)

Размещение КНА на платформе «Навигатор»



Гамма-телескоп ГАММА-400 и рентгеновский телескоп АРТ-ХС расположены на ферме КНА соосно, с полями зрения $\pm 45^\circ$ и $\pm 0,2^\circ$, соответственно. Конструкции приборов не затеняют друг друга.

ОРБИТА КА «ГАММА-400» И РЕЖИМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

Начальные параметры орбиты:

- апогей 300 000 км;
- перигей 500 км;
- наклонение 51.4° .



Основной режим наблюдений:

- длительные наблюдения (до 100 дней) Галактического центра и протяженных гамма-источников со сдвигом КА на 1° каждые сутки. Точность наведения «Навигатора» на источник - $30''$.

Под воздействием Солнца, Луны и Земли примерно через 6 месяцев орбита полностью выйдет из радиационных поясов и станет круговой с радиусом $\sim 200\,000$ км.

Таким образом орбита будет вне радиационных поясов и не будет затеняться Землей.



В качестве наземной станции приема предполагается использовать радиоастрономический комплекс на базе радиотелескопа RT-22 в Пушино (ФИАН).

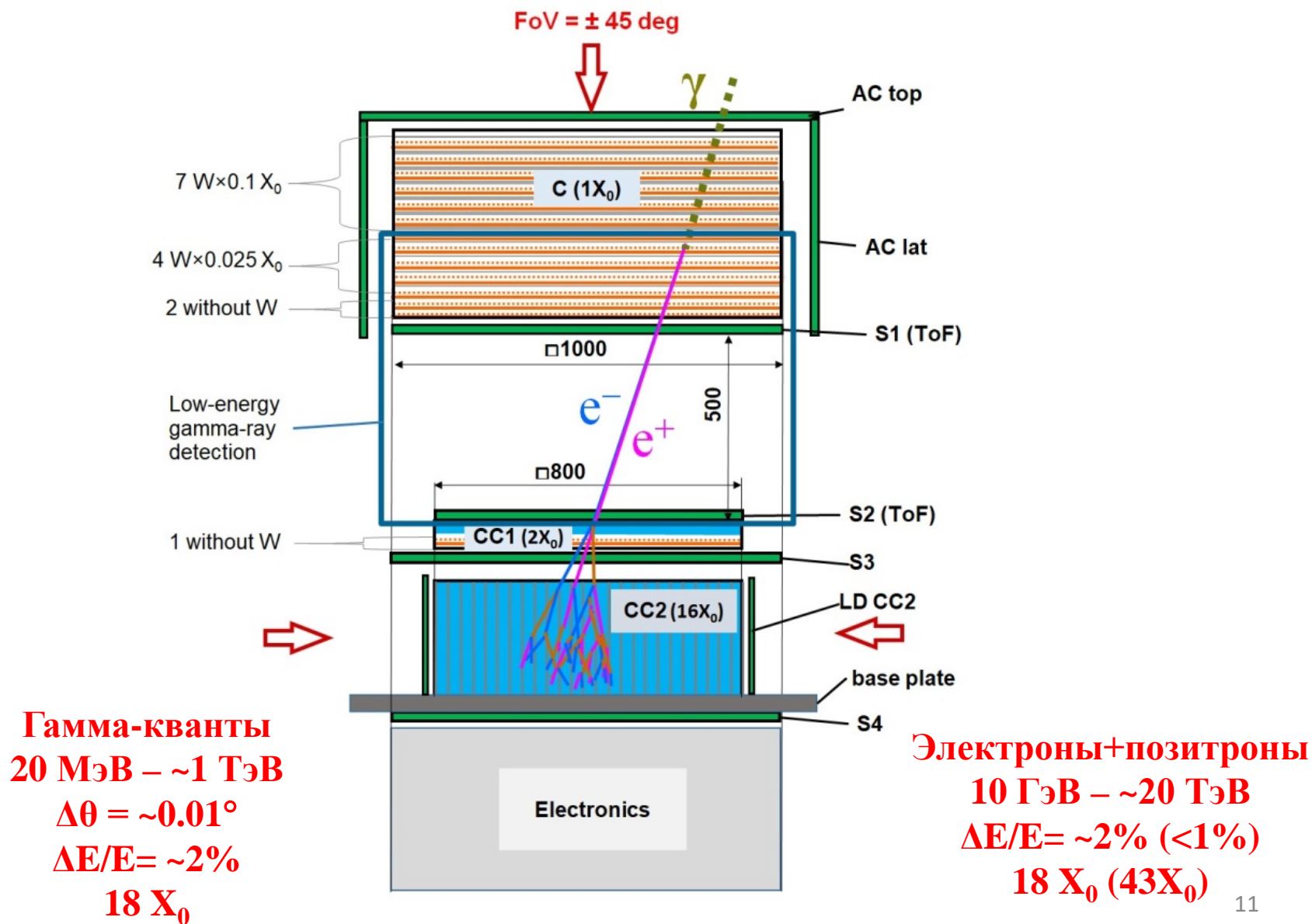
В качестве запасной наземной станции приема информации рассматривается радиотелескоп RT-22 Симеиз, Крым.

Основные научные задачи гамма-телескопа ГАММА-400:

- регистрация космического высокоэнергичного гамма-излучения (от 20 МэВ до ~1000 ГэВ);
- поиск особенностей в энергетических спектрах высокоэнергичного гамма-излучения, которые могут быть связаны с частицами темной материи;
- исследование гамма-излучения от Галактического центра, Галактической плоскости, Ферми пузырей, пульсарных туманностей Краб, Вела, Геминга, комплекса Лебедь X, блазаров и др.;
- исследование диффузного гамма-излучения;
- регистрация гамма-излучения при солнечных вспышках;
- регистрация гамма-всплесков;
- регистрация потоков электронов + позитронов с энергией до 20 ТэВ

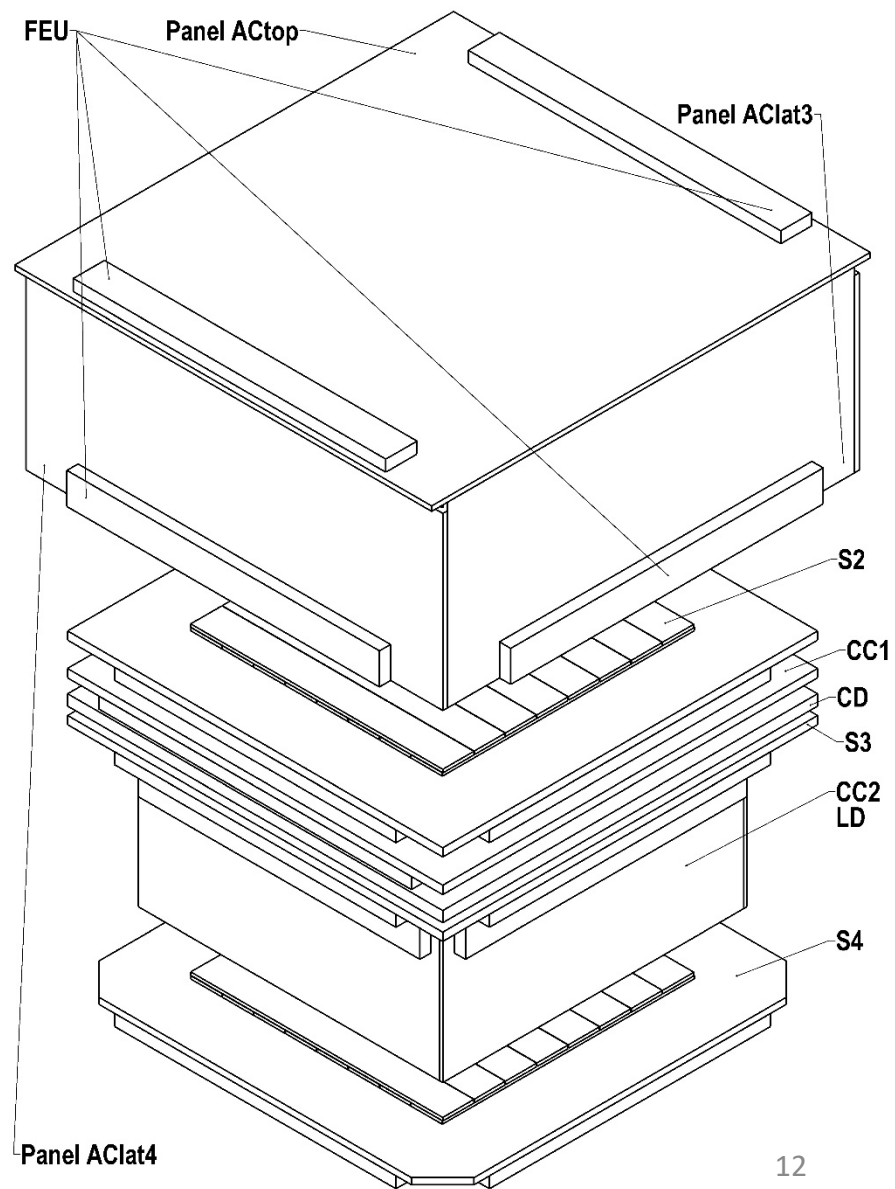
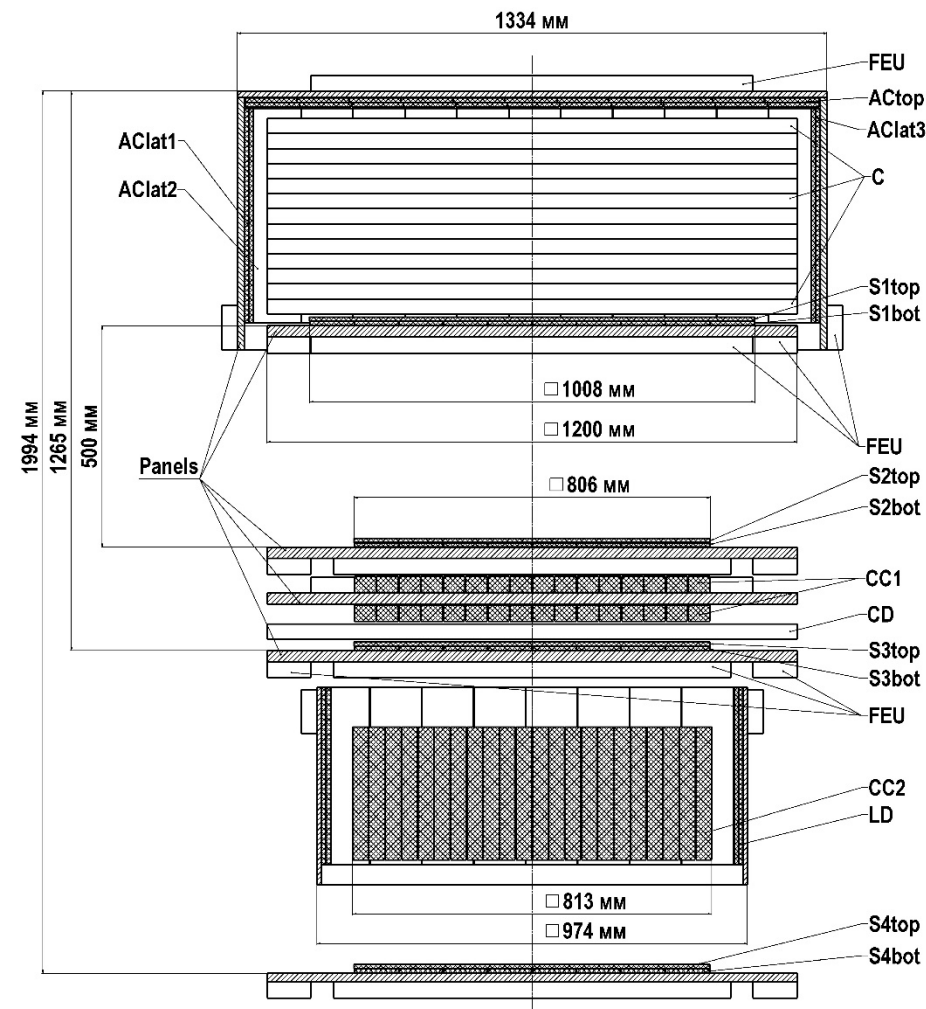
Физическая схема гамма-телескопа ГАММА-400

AC, S1, S2, S3, S4, LD – сцинтилляционные пластиковые детекторы, C – SciFi детекторы на основе сцинтилляционных волокон, CC1 и CC2 – CsI(Tl) сцинтилляционные детекторы.



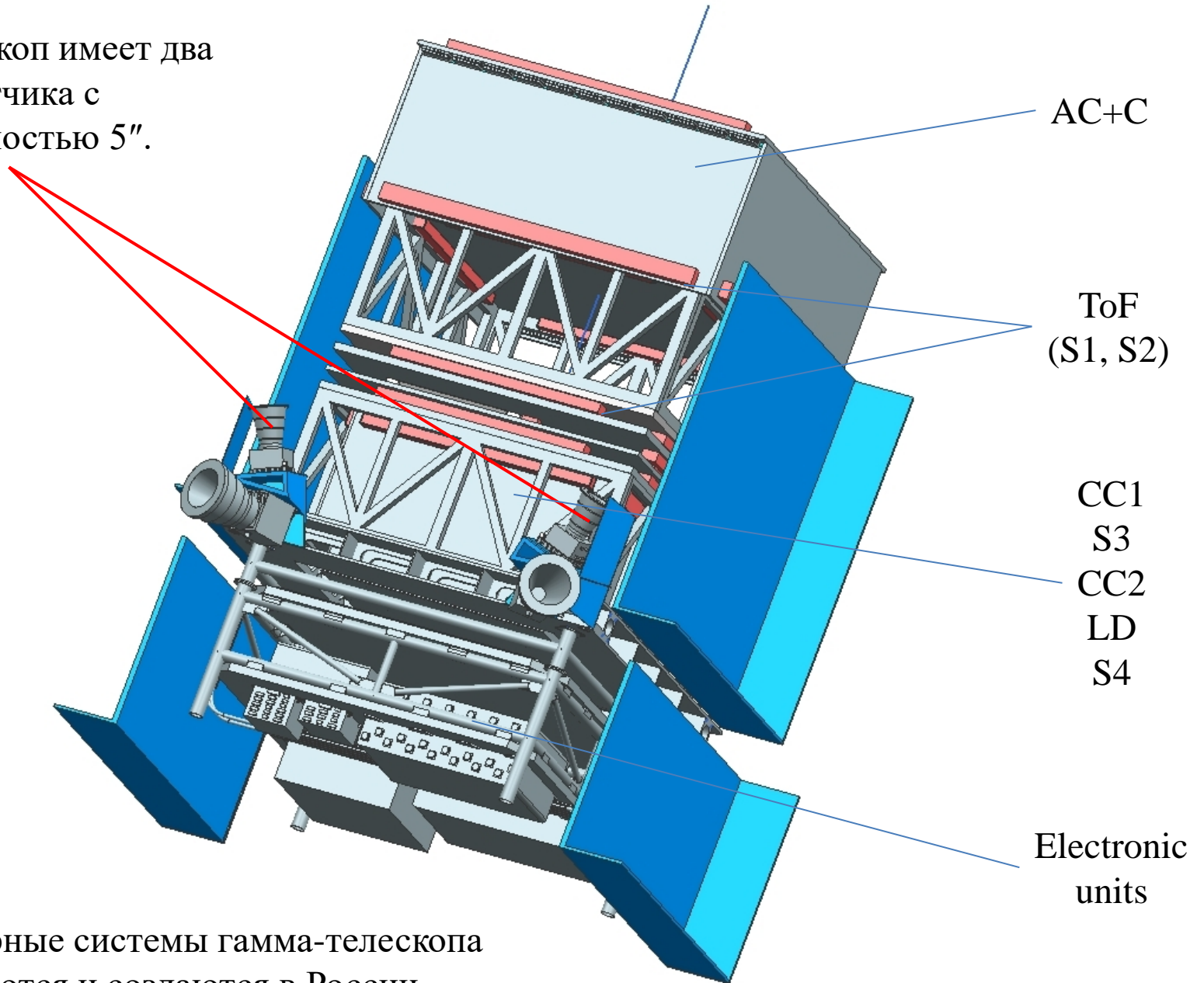
Физическая схема гамма-телескопа ГАММА-400

AC, S1, S2, S3, S4, LD – сцинтилляционные пластиковые детекторы, C – SciFi детекторы на основе сцинтилляционных волокон, CC1 и CC2 – CsI(Tl) сцинтилляционные детекторы.



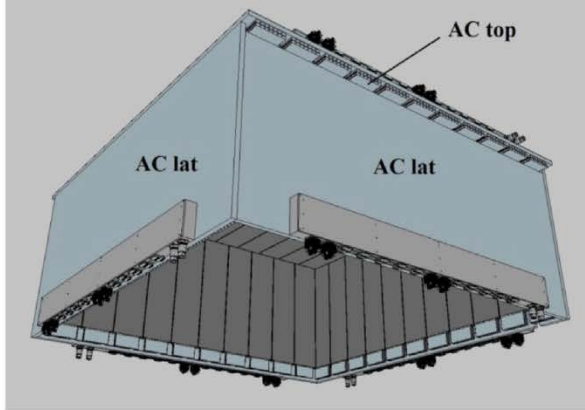
Инженерная модель гамма-телескопа ГАММА-400

Гамма-телескоп имеет два звездных датчика с угловой точностью 5".

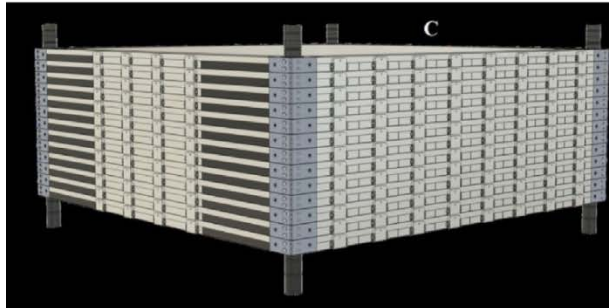


Все детекторные системы гамма-телескопа разрабатываются и создаются в России.

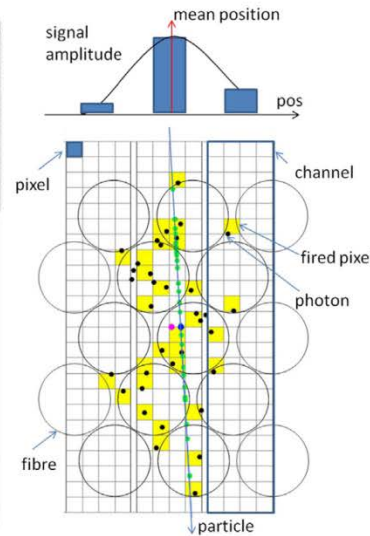
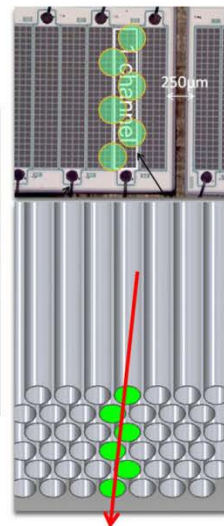
Инженерные модели детекторных систем гамма-телескопа ГАММА-400: ACtop, AClat (a); C (b, c); S1(ToF), S2(ToF) (d); S3, S4 (e)



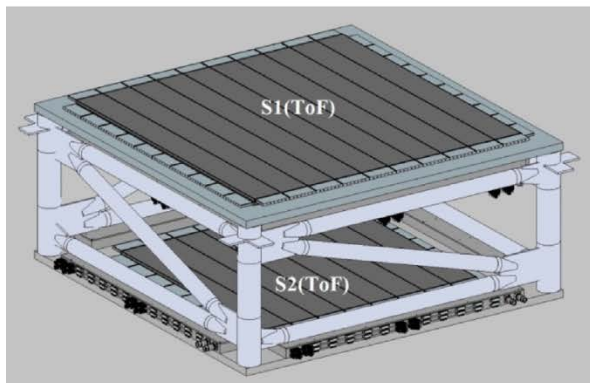
(a)



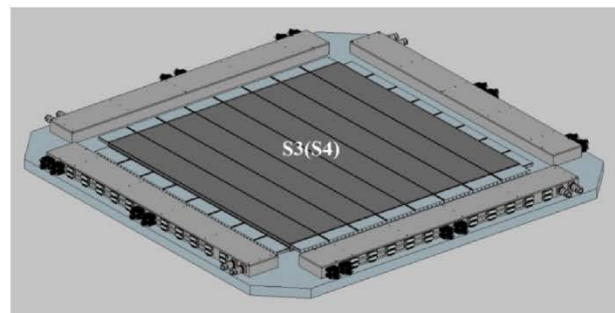
(b)



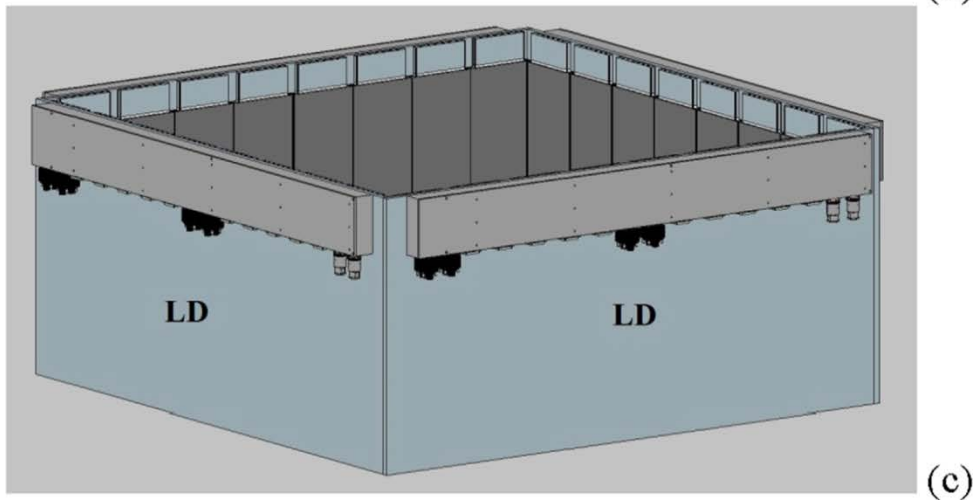
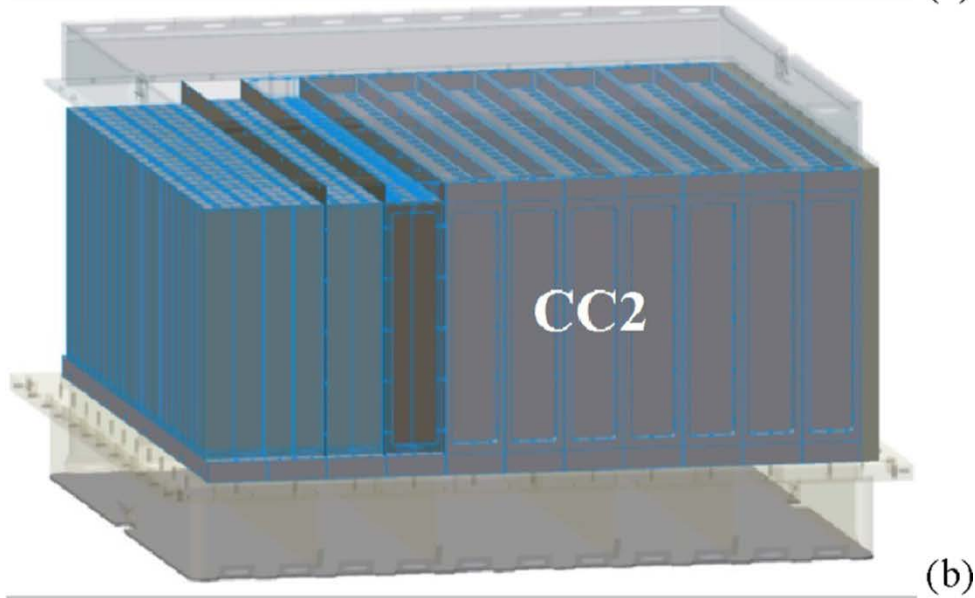
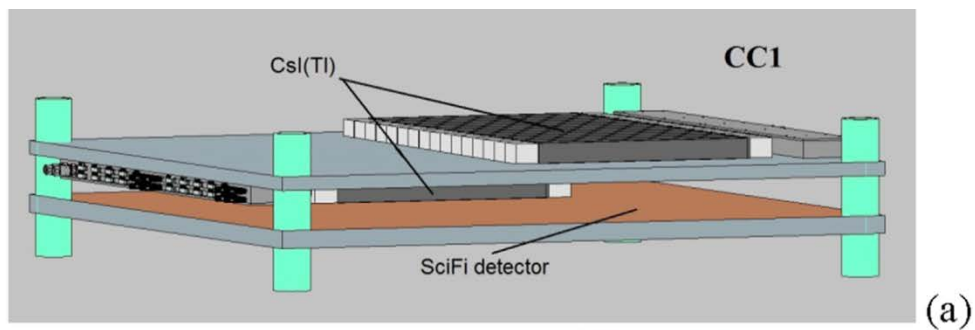
(c)



(d)

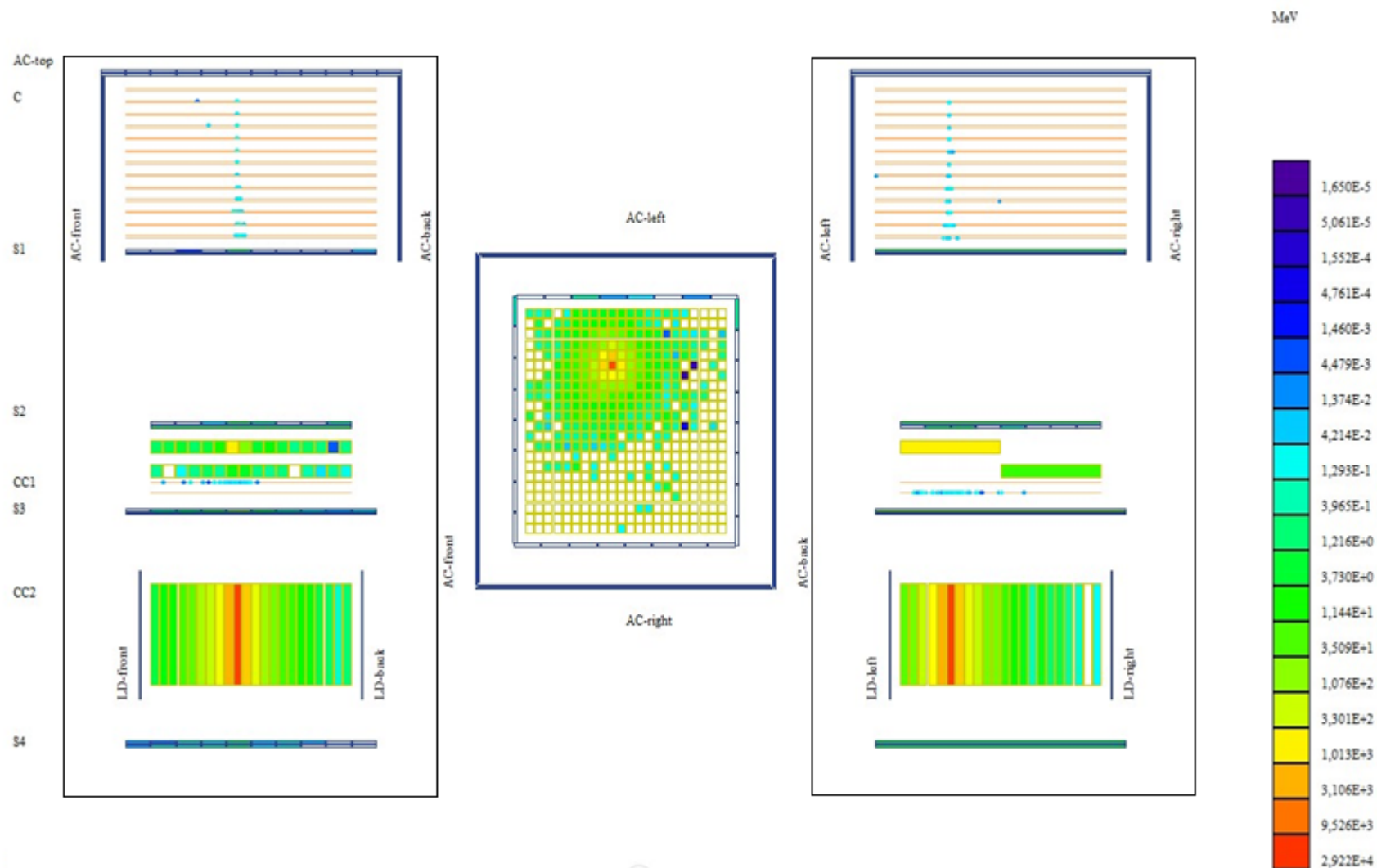


(e)



**Инженерные модели
детекторных систем
гамма-телескопа ГАММА-400:
CC1 (a), CC2 (b), LD (c)**

Симуляция регистрации 50-ГэВ гамма-кванта



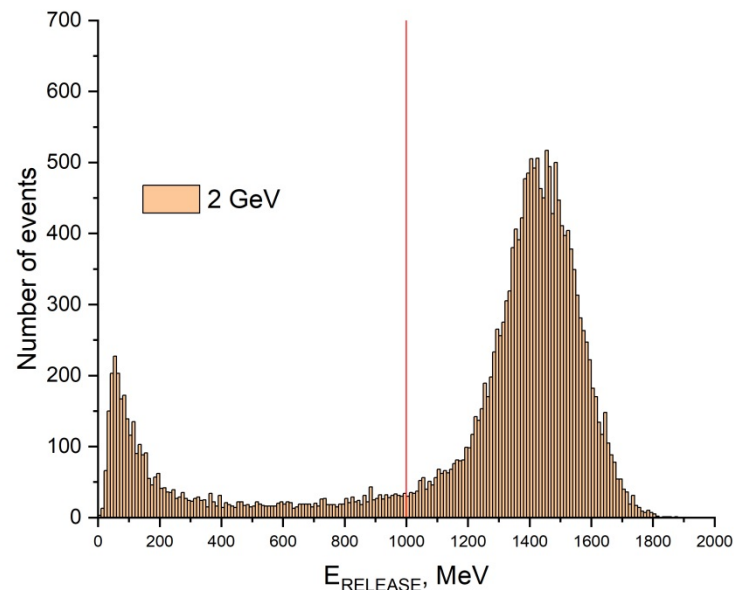
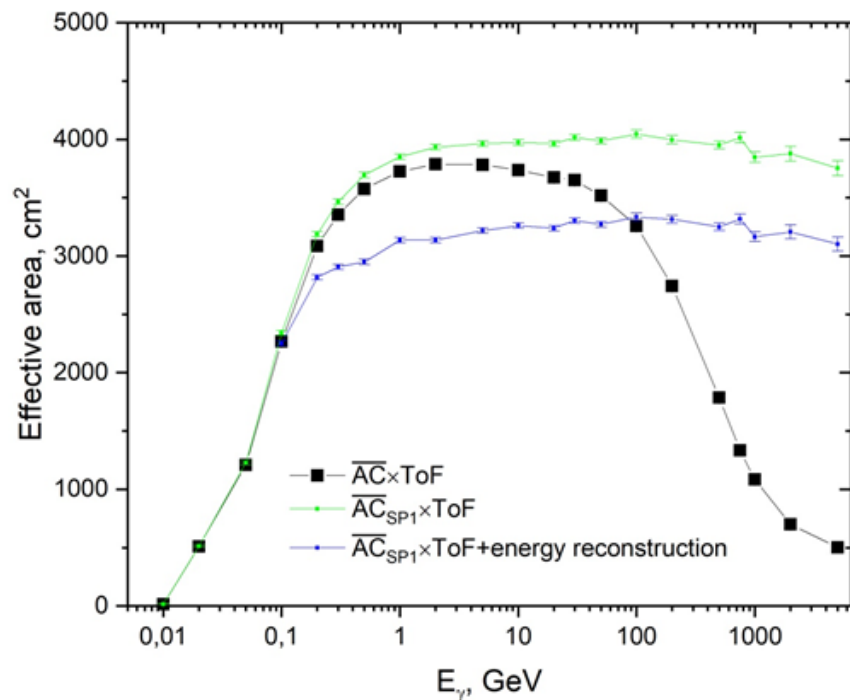
Зависимость эффективной площади от энергии.

Для реконструкции энергосыделения использовался метод мультивариативного анализа «Boosted Decision Trees» (BST). Этот метод реализован в пакете объектно-ориентированных программ и библиотек ROOT. При учете восстановления трека и энергии эффективная площадь снижается до 3200 см²

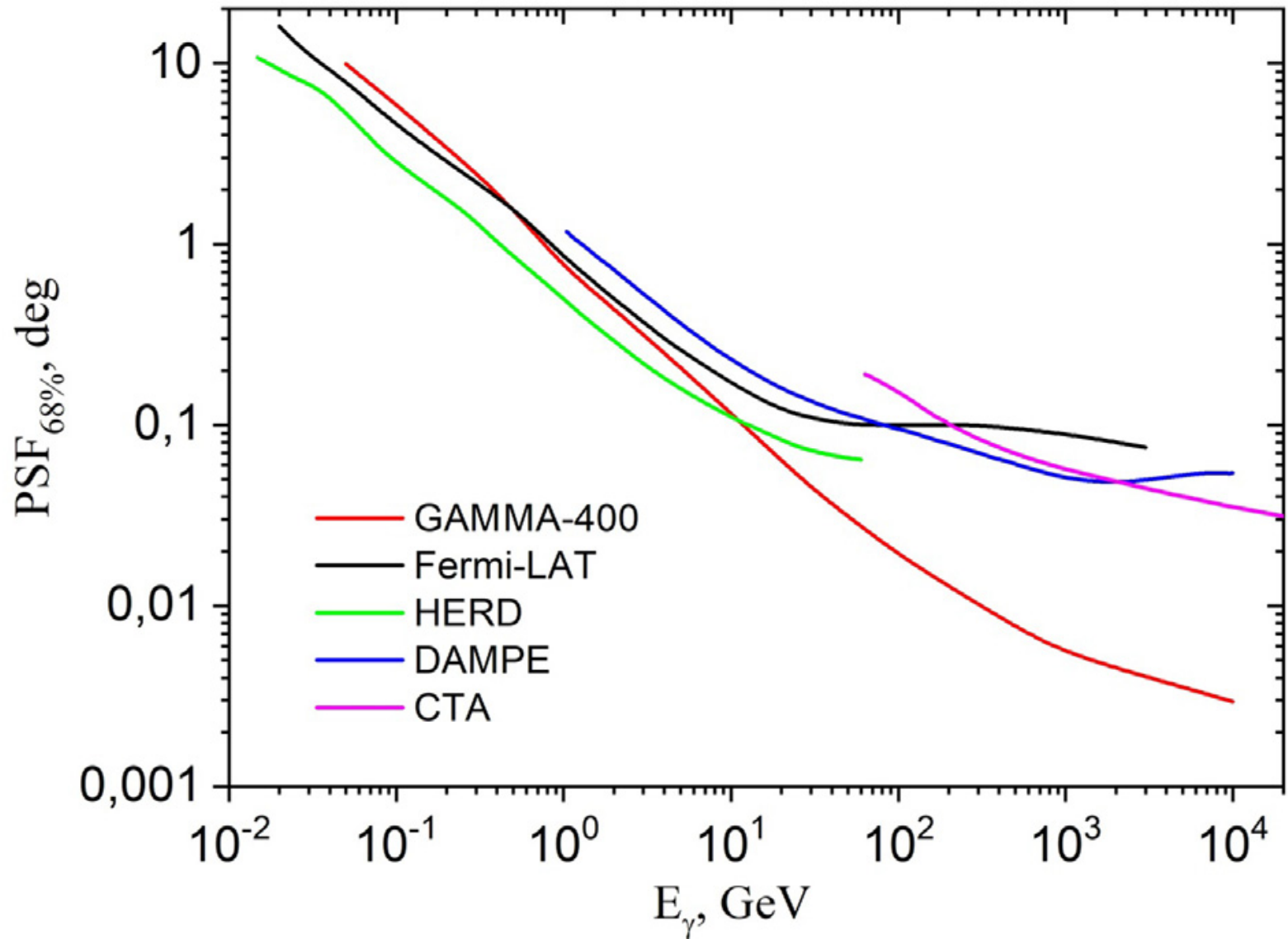
Основной триггер: $\overline{AC_{SP1}} \times ToF$

$$\overline{AC_{SP1}} = \overline{AC(\text{same position strip})} \mid [\text{timeAC} > \text{timeS1}]$$

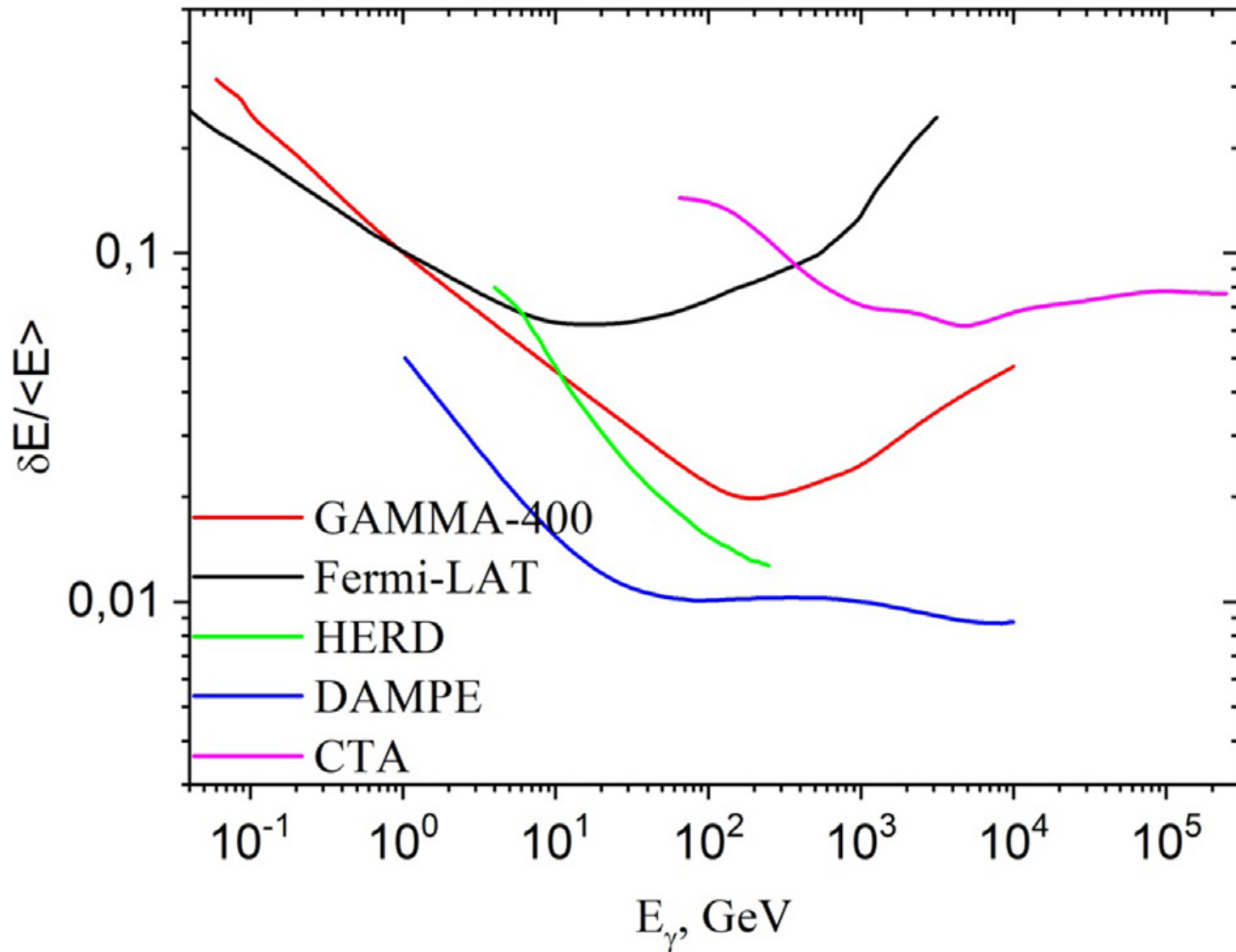
$$ToF = S1 \times S2 \times [\text{timeS1} < \text{timeS2}]$$



Зависимость углового разрешения от энергии.



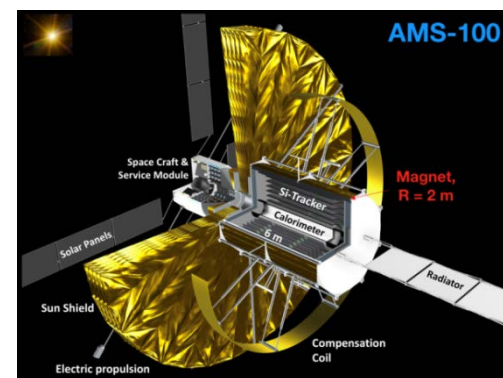
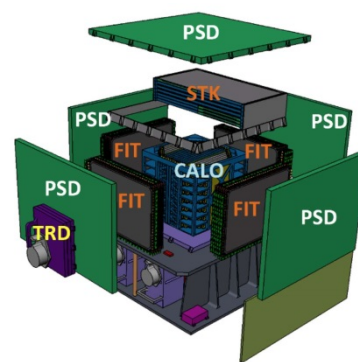
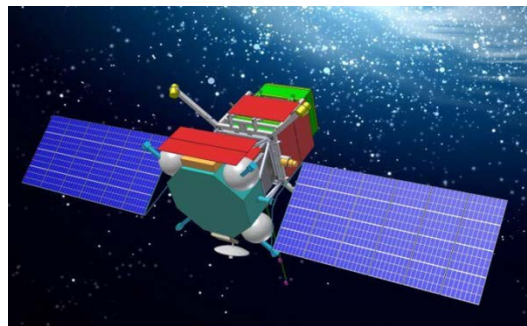
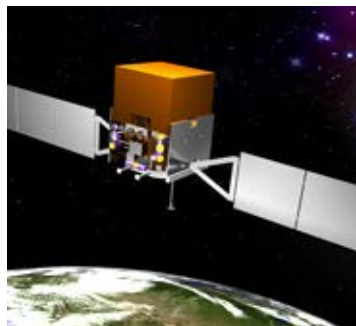
Зависимость энергетического разрешения от энергии.



Сравнение основных параметров ГАММА-400 и Fermi-LAT

	Fermi-LAT	ГАММА-400
Орбита	круговая, 565 км	высокоэллиптическая, 500-300000 км (без затенения Землей)
Режим работы	обзор неба (3 часа)	наблюдение (до 100 дней)
Экспозиция/время работы	1/8	1
Энергетический диапазон	50 МэВ - 1000 ГэВ	~20 МэВ – ~1000 ГэВ
Эффективная площадь ($E_\gamma > 1$ ГэВ)	~9000 см ²	~4000 см ²
Координатные детекторы - съем информации	Si стрипы бинарный	SciFi аналоговый
ВПС	-	ВПС (L = 50 см)
Угловое разрешение	~0,1° ($E_\gamma = 100$ ГэВ)	~0,01° ($E_\gamma = 100$ ГэВ)
Калориметр - толщина	CsI(Tl) ~8,5X ₀	CsI(Tl)+SciFi ~18X₀ (43X₀)
Энергетическое разрешение	~10% ($E_\gamma = 100$ ГэВ)	~2% ($E_\gamma = 100$ ГэВ)
Объем информации	15 Гбайт/день	100 Гбайт/день

Планируемые исследования гамма-излучения более 10 ГэВ на космических аппаратах по сравнению с Fermi-LAT



Fermi-LAT

США

с 2008 г.

100 МэВ – 300 ГэВ

$\Delta\theta = \sim 0.1^\circ$

$\Delta E/E = \sim 10\%$

8.5 X_0

ГАММА-400

Россия

~2030 г.

20 МэВ – ~1 ТэВ

$\Delta\theta = \sim 0.01^\circ$

$\Delta E/E = \sim 2\%$

18 X_0 (43 X_0)

HERD

Китай

~2027 г.

1 ГэВ – 10 ТэВ

$\Delta\theta = \sim 0.1^\circ$

$\Delta E/E = 1-2\%$

55 X_0

AMS-100

Европа + США

~2039 г.

1 ГэВ – 10 ТэВ

$\Delta\theta = \sim 0.01^\circ$

$\Delta E/E = 1-2\%$

70 X_0

Характеристики разрабатываемых гамма-телескопов по сравнению с Fermi-LAT

	Космические гамма-телескопы						Наземные установки
	Низкие энергии			Высокие энергии			
	ASTROGAM	AMEGO	Fermi-LAT	ГАММА-400	HERD	AMS-100	СТА
Страна	Европа	США	США	Россия	Китай	Европа +США	
Диапазон энергий, γ	0,3 МэВ – 3 ГэВ	0,2 МэВ - 10 ГэВ	50 МэВ – 1000 ГэВ	20 МэВ - 1000 ГэВ	0,5 ГэВ – 10 ТэВ	1 ГэВ – 10 ТэВ	> 50 ГэВ
Вид наблюдения	Сканирование	Сканирование	Сканирование	Источник	Сканирование	Сканирование	Сканирование
Орбита	Круговая, ~550 км	Круговая, ~550 км	Круговая, ~550 км	Высоко-апогейная, ~200 000 км	Круговая, ~400 км	L2, 1,5 млн. км	
Угловое разрешение	0,1°	1°	0,1°	~0,01°	0,1°	~0,01°	0,1°
Энергетическое разрешение	20%	10%	10%	~2%	1-2%	1-2%	15%

Сравнение характеристик при регистрации электронов + позитронов для GAMMA-400 (сверху-вниз и для боковых направлений) с характеристиками Fermi-LAT, PAMELA, AMS-02, CALET, DAMPE, HERD

	GAMMA-400		Fermi-LAT	PAMELA	AMS-02	CALET	DAMPE	HERD
Aperture	top-down	4 sides	top-down	top-down	top-down	top-down	top-down	5 sides
Acceptance, m² sr	~0.3	~0.5	2.5	0.02	0.4	0.1	0.3	3
Proton rejection factor	~10 ⁴	~10 ⁴	~10 ⁴	~10 ⁴	~10 ⁴	10 ⁵	10 ⁵	>10 ⁵
Calorimeter area, m²	0.7	4×0.24	0.85	0.06	0.42	0.1	0.36	5×0.4
Calorimeter thickness, X₀	18	43	8.6	16	16	30	32	55

В рамках осуществления космических проектов “ГАММА-400” и “АЛЬФА-ЭЛЕКТРОН”, коллаборацией ФИАН и НИЯУ МИФИ созданы три калибровочных квазимонохроматических пучка электронов (позитронов) на базе ускорителя ФИАН С-25Р “ПАХРА” для проведения тестовых исследований характеристик детекторов и аппаратуры проектов:

1. Пучок с энергией 20-300 МэВ, средней интенсивностью $\sim 1 \div 10^2 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$;
2. Пучок с энергией 3-100 МэВ, средней интенсивностью $\sim 10 \div 10^3 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$;
3. Пучок с энергией 90-250 МэВ, средней интенсивностью $\sim 10^2 \div 10^3 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$.

Интенсивность пучков зависит от энергии вторичных частиц, возрастая с ее увеличением. Энергетическое разрешение пучков улучшается с ростом энергии и составляет $1 \div 10\%$.

Комплекс, установленной на пучках, измерительной аппаратуры позволяет исследовать следующие параметры детекторов в зависимости от координаты центра падения пучка:

- эффективность регистрации частиц;
- среднюю амплитуду выходного сигнала;
- амплитудное (энергетическое) разрешение;
- временное разрешение.

Синхротрон С - 25Р «ПАХРА»

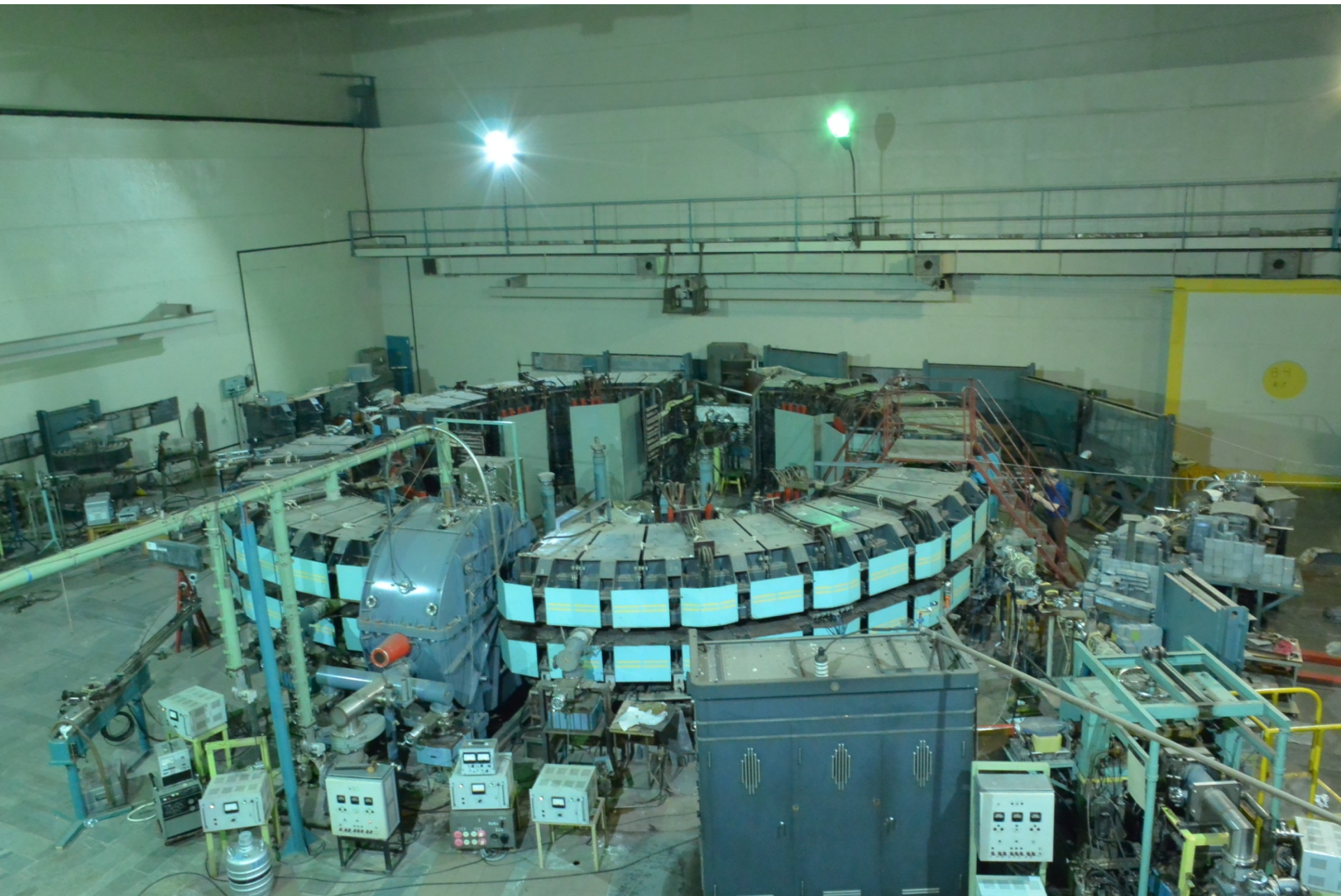


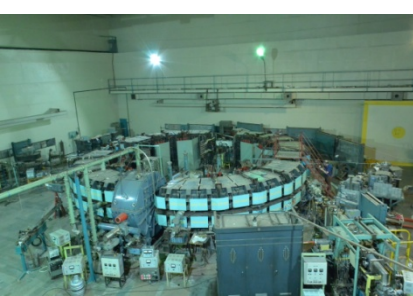
схема формирования пучка на синхротроне С - 25Р «ПАХРА»

- детектор КК2 НА ГАММА-400
- монитор пучка Вm2
- детекторы НА ГАММА-400 (пластики, КК1)
- монитор пучка Вm1
- коллиматор К4



коллиматор К1+ монитор пучка Вm0

синхротрон С-25Р,
внутренняя мишень
W+ коллиматор К0



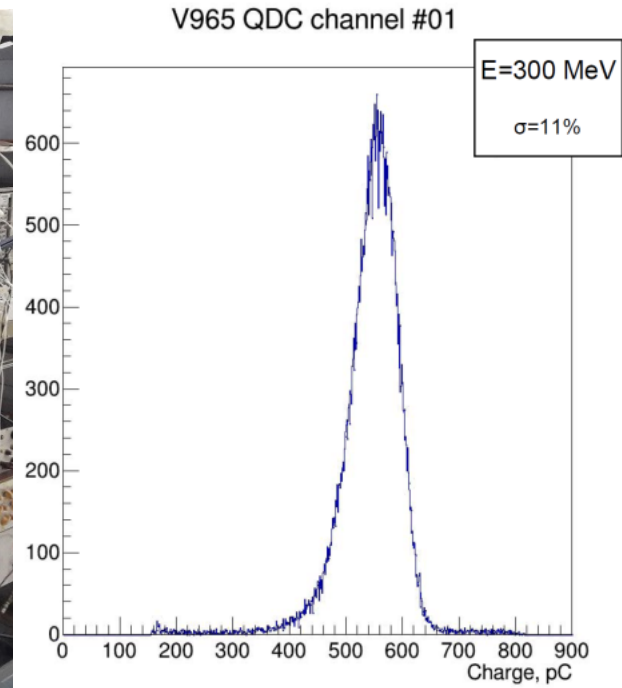
**Контрольно-измерительная аппаратура для калибровки на
синхротроне ФИАН (г. Троицк) на пучке позитронов (N1)
в диапазоне энергий 200-300 МэВ**



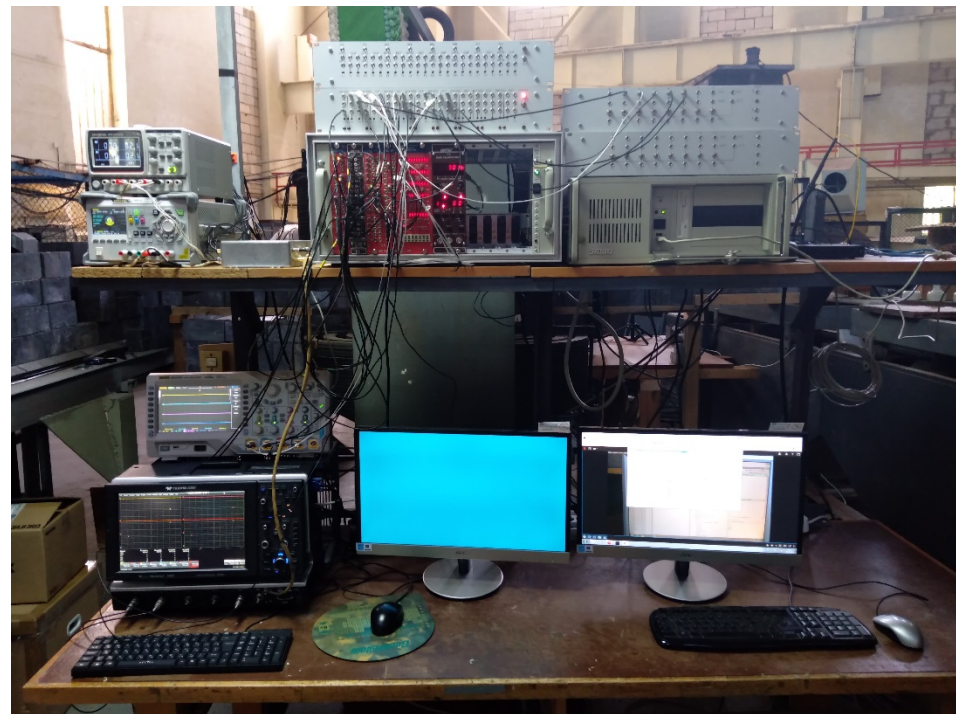
Работа с прототипами детекторов ГАММА-400 на синхротроне ФИАН (г. Троицк) на пучке позитронов в диапазоне энергий 200-300 МэВ (пучок N1)



Positron beam

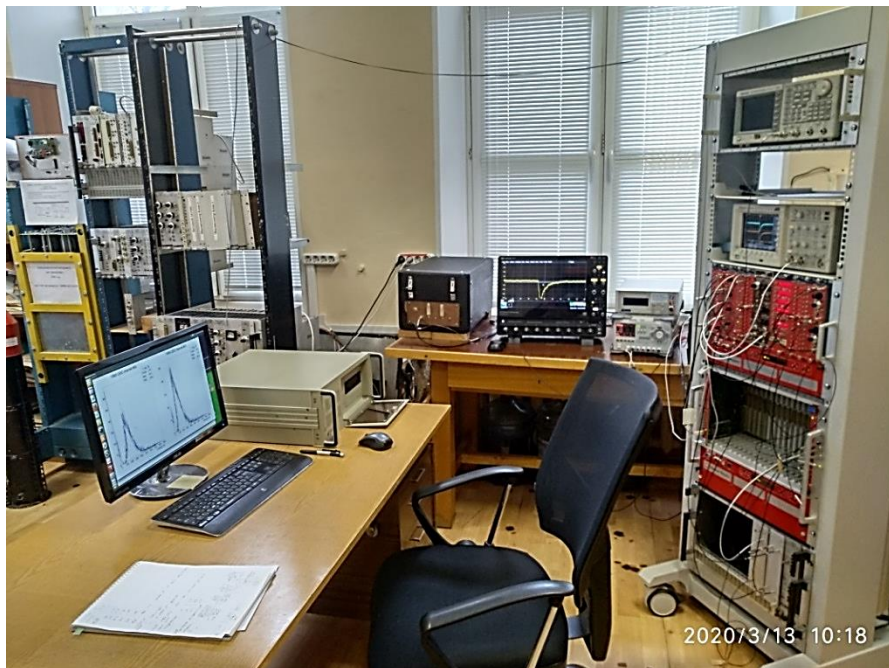


Работа с прототипами детекторов (пучок N2)



Работа с прототипом детектора АС (пучок N3)





ФИАН



НИЯУ МИФИ

**Рабочие места по исследованию характеристик детекторных систем
ГАММА-400 в ФИАН и НИЯУ МИФИ
(космические мюоны, «меченные» электроны, радионуклидные
источники).**

В результате проведения измерений с прототипами отдельных систем гамма-телескопа на пучке позитронов с энергиями 200-300 МэВ на ускорителе С-25Р (ФИАН, Троицк) в 2017-2022 гг. были получены следующие результаты:

- эффективность регистрации заряженных частиц прототипом детектора антисовпадений АС (длина полосы 1280 мм) – не хуже 0.9996;**
- временное разрешение прототипа АС – не хуже 180 пс;**
- эффективность разделения частиц, летящих сверху-вниз от частиц летящих снизу-вверх, для прототипа времяпролетной системы ТОФ – ~100%;**
- временное разрешение прототипа ТОФ – не хуже 250 пс;**
- энергетическое разрешение прототипа калориметра СС2 – 11%.**

В сентябре-декабре 2023 года планируется проведение серии измерений для прототипа гамма-телескопа, составленного из прототипов отдельных систем (АС, ТОФ, СЗ, СС1) объединенных в общую систему и размещенных на единой приборной ферме.



Макеты детекторных систем ГАММА-400 на приборной ферме в НИЯУ МИФИ

Исследовательская работа студентов НИЯУ МИФИ в рамках проекта ГАММА-400 (темы работ за последние годы)

Исследование различных режимов работы кремниевых фотоэлектронных умножителей в составе быстрых сцинтилляционных детекторов гамма-телескопа ГАММА-400.

Разработка и исследование характеристик системы калибровки быстрых сцинтилляционных детекторов гамма-телескопа ГАММА-400.

Оптимизация конструкции и определение физических характеристик сцинтилляционных детекторов гамма телескопа ГАММА-400.

Разработка схемы многомерного анализа амплитудных характеристик быстрых сцинтилляционных детекторов гамма-телескопа ГАММА-400.

Разработка схемы многомерного анализа временных характеристик быстрых сцинтилляционных детекторов гамма-телескопа ГАММА-400.

Разработка унифицированной схемы измерения амплитудных и временных характеристик быстрых сцинтилляционных детекторов гамма-телескопа ГАММА-400.

Оптимизация временных характеристик сцинтилляционной детекторной системы гамма-телескопа ГАММА-400.

Модернизация системы отбора событий для сцинтилляционных детекторных систем.

Измерение характеристик и выбор режимов работы макета модуля детектора АС.

Методы идентификации электронов, протонов и гамма-квантов в боковой апертуре гамма-телескопа ГАММА-400.

Проектная деятельности школьников в НИЯУ МИФИ

Ежегодно проводится двухнедельная летняя исследовательская практика школьников:

- окончивших 10-й класс лицеев при НИЯУ МИФИ
- инженерных классов подшефных школ Москвы на базе НИЯУ МИФИ
- окончивших класс старше шестого на базе ИНКОС НИЯУ МИФИ

Во время практики школьники занимаются проектной деятельностью на экспериментально-лабораторной базе кафедр университета.

Проектная деятельность школьников в ИНКОС НИЯУ МИФИ осуществляется в следующих областях подготовки:

- Детекторы для регистрации элементарных частиц
- Физика космических лучей, в том числе и солнечных
- Астрофизика высоких энергий

Большинство участников летней исследовательской практики продолжают проектную деятельность на кафедрах университета в течение учебного года с тем, чтобы представить свой проект на Всероссийском конкурсе научных работ школьников «Юниор» и Открытой городской научно-практической конференции «Инженеры будущего».

В современном школьном образовании учащиеся имеют несколько возможностей для реализации своего исследовательского потенциала, а именно участие в различных:

- научно-практических конференциях школьников;**
- олимпиадах;**
- конкурсах проектной деятельности, которые иногда совмещены с олимпиадами.**

Участие в олимпиадах дает:

- ✓ углубленное изучение предмета;**
- ✓ освоения специальных методик и подходов к решению олимпиадных задач.**

Однако, как правило, не предоставляет школьникам возможности для проявления их качеств, как исследователей.

Проектная деятельность школьников позволяет попробовать свои силы не только в решении уже решенных ранее задач, а также:

- провести анализ рассматриваемой проблемы;**
- осуществить разработку новых или поиск уже известных методов ее изучения;**
- реализовать применение этих методов на практике.**

Данный подход приводит к появлению интереса к познавательной активности и приобщению к научно-исследовательской работе и, в дальнейшем, определяет профориентацию школьников.

Для самореализации школьников и их профориентации проектная деятельность является более важной, чем решение олимпиадных задач.

Методика проектной практики школьников на базе Института Космофизики НИЯУ МИФИ

пример одного из заданий «Обработка данных калибровок макетов детекторов космического гамма-телескопа ГАММА-400 на синхротроне С-25Р «ПАХРА»

Цель работы: Продемонстрировать возможность режекции обратного тока при помощи детектора АС макета комплекса научной аппаратуры (КНА) ГАММА-400 на примере обработки калибровочных данных, полученных на ускорителе С-25Р «Пахра».

Задачи работы.

Обработка данных, полученных в нескольких сеансах калибровок, например 21.5.2018 (run 2, 5–10) и 23.05.2018 (run 4, 13–16):

- 1) сопоставить начало, середину, конец сеанса и энергию пучка по анализу записей лабораторного журнала с отсортированными файлами данных
- 2) построить и аппроксимировать графики амплитудных и временных распределений;
- 3) найти средние значения амплитуды и временного разрешения и проанализировать их изменение в течение сеанса.
- 4) Сделать заключение по результатам работы.

Методика проектной практики школьников на базе Института Космофизики НИЯУ МИФИ

пример одного из заданий «Обработка данных калибровок монитора пучка на синхротроне С-25Р «ПАХРА»

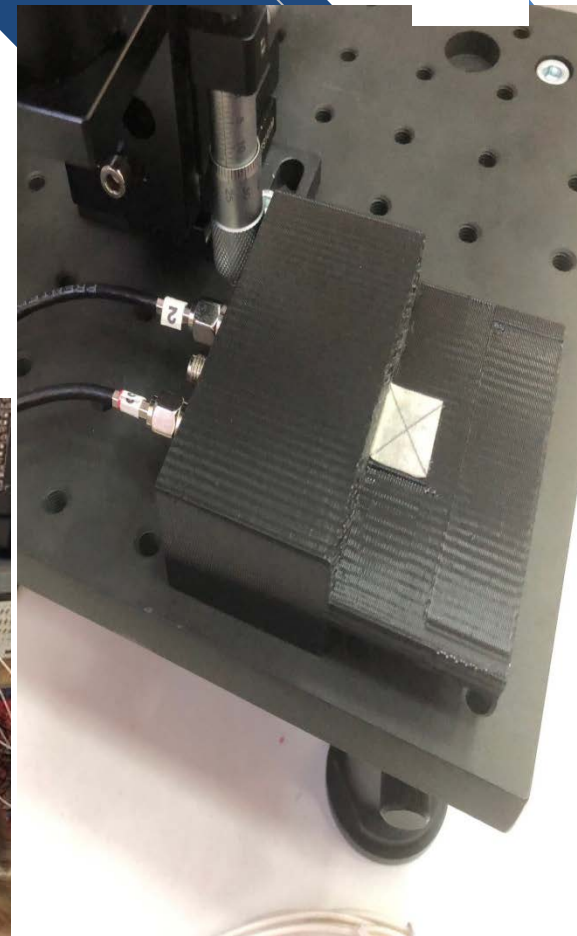
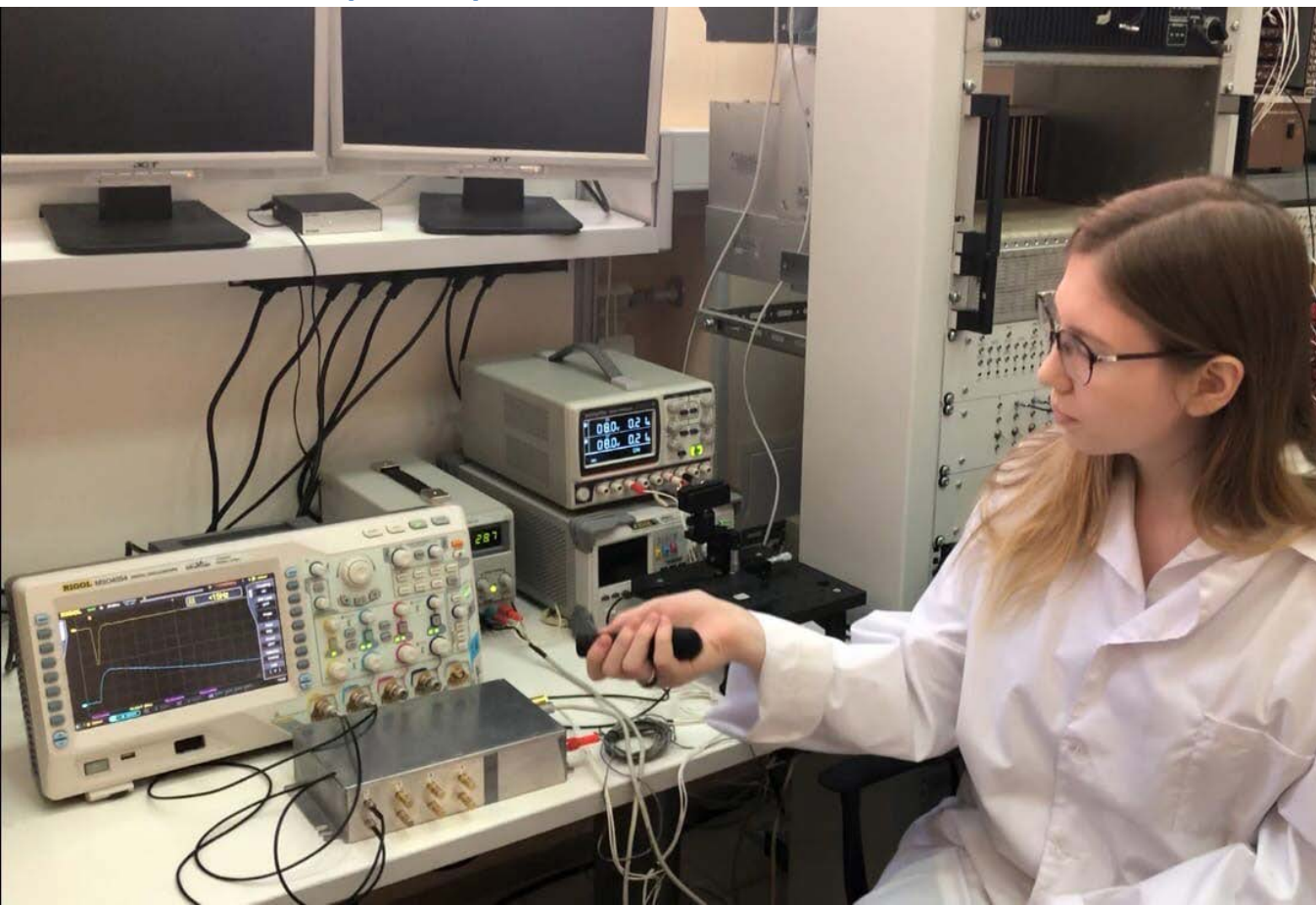
Цель работы: Продемонстрировать возможность регистрации электронов и мюонов космических лучей при помощи монитора пучка, использовавшегося на ускорителе С-25Р«Пахра».

Задачи работы.

Обработка данных, полученных в нескольких сеансах калибровок, например 21.5.2018 (run 2, 5) и 23.05.2018 (run 4, 12):

- 1) сопоставить начало, середину, конец сеанса и энергию пучка по анализу записей лабораторного журнала с отсортированными файлами данных
- 2) построить и аппроксимировать распределение сигналов с монитора пучка по времени нарастания фронта импульса;
- 3) Сравнить временное разрешение монитора пучка для различных сеансов и построить распределение по времени;
- 4) Проанализировать сигналы с детекторов монитора пучка от электронов и мюонов космических лучей
- 4) Сделать заключение по результатам работы.

Участие школьников в исследовании
сигналов от источника электронов
детектором монитора пучка в научной
лаборатории ИНКОС НИЯУ МИФИ



Школьники на практике в учебной лаборатории



Школьники-призеры различных научно-образовательных конкурсов и конференций, проходившие обучение в ИНКОС НИЯУ МИФИ (Руководитель Архангельская И.В.)

Конференция «От атома до галактики»

2019 – 2 призера Брюханов Кирилл, Курмашева Татьяна

«Зонд для сбора данных о явлении пробоя на убегających электронах в стратосфере»

ЮНИОР – 5 призеров с 2014 г

2014 - Мурашова Ольга

«Оптимизация научной аппаратуры «Сигнал» в эксперименте «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» для наблюдения и изучения гамма-всплесков»

2016 - Самохин Вадим

«Определение диапазона изменения величины магнитного поля для ИСЗ, орбита которых находится во внешней магнитосфере Земли»

2018 - Раковская Ольга

«Новые объекты для внесения в список наблюдений гамма-телескопа ГАММА-400»

2019 Воробьёв Вадим

«Обработка калибровочных данных с детекторов макета аппаратуры ГАММА-400: возможность режекции обратного тока»

2020 Курмашева Татьяна

«Зонд для сбора данных о явлении пробоя на убегających электронах»

Школьники-призеры различных научно-образовательных конкурсов и конференций, проходившие обучение в ИНКОС НИЯУ МИФИ (Руководитель Архангельская И.В.)

"Инженеры будущего" – молодёжная научная школа-конференция

2020 - 2 призера

Курмашева Татьяна

«Зонд для сбора данных о явлении пробоя на убегающих электронах»

Атрошенко Илья

«Водный исследовательский комплекс «ВИК-2»

«Современные проблемы физики и технологий»

2019 - 2 призера

Курмашева Татьяна, Брюханов Кирилл

«Зонд для сбора данных о явлении пробоя на убегающих электронах в стратосфере»

XVII Школьные Харитоновские чтения (2018)

2018 - Раковская Ольга

«Красное смещение в скоплениях галактик»

Ежегодная межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В.Арменского

2021 – Курмашева Татьяна

«Зонд для сбора данных о явлении пробоя на убегающих электронах»

Школьники-призеры различных научно-образовательных конкурсов и конференций, проходившие обучение в ИНКОС НИЯУ МИФИ (Руководитель Архангельская И.В.)

Отборочный этап «Прикладные космические системы» конкурса СИРИУС

2019-2020 - Курмашева Татьяна

«Конструкция зонда для сбора данных о явлении пробоя на убегающих электронах»

Городской конкурс по астрономии «Космический патруль»

2023 - Рудакова Елизавета

«Изучение возможности анализа характеристик солнечных вспышек при помощи системы детекторов боковой апертуры космического гамма-телескопа ГАММА-400»

Заключение

Внеатмосферные и наземные астрофизические исследования по гамма-астрономии высоких и сверхвысоких энергий позволяют получить чрезвычайно важную информацию: о физических условиях в дискретных астрофизических объектах, о свойствах межзвездного и межгалактического пространства, о природе темной материи.

После Fermi-LAT запуск гамма-телескопа ГАММА-400 представляет уникальную возможность значительно улучшить данные о гамма-излучении высоких и сверхвысоких энергий, о потоках высокоэнергичных электронов и позитронов благодаря значительно лучшему угловому и энергетическому разрешениям, большой площади, длительным непрерывным наблюдениям.

Одновременное наблюдение источников гамма- и рентгеновским телескопами из космоса станет уникальным космическим экспериментом. Совместные наблюдения с наземными гамма-установками (СТА, TAIGA и др.), а также с гравитационно-волновыми (LIGO, Virgo) и нейтринными (IceCube) наземными экспериментами позволят существенно продвинуться в понимании происходящих в астрофизических источниках физических процессов.

Проектная деятельность школьников в ИНКОС НИЯУ МИФИ осуществляется в следующих областях подготовки:

- **Детекторы для регистрации элементарных частиц**
- **Физика космических лучей, в том числе и солнечных**
- **Астрофизика высоких энергий**

Школьники сначала слушают курс занятий «Введение в физику космических лучей», а потом получают научную проблему для анализа, как правило, связанную с обработкой реальных данных или реальными измерениями. Проблемы подбираются так, чтобы от школьников при их анализе требовались только базовые школьные знания и информация, полученная на вводных занятиях, а так же аккуратность и собранность.

По итогам практики школьники пишут отчет и затем проходит защита их работы. Далее эта работа может быть продолжена и представлена на конкурсах и конференциях, проводимых как для школьников (например, ЮНИОР), так и для студентов и специалистов, в том числе и международных (например, COSPAR).

Чисто учебных задач в ИНКОС НИЯУ МИФИ нет, что позволяет дать возможность участвовать именно в научной деятельности, при этом каждому участнику достанется хотя бы небольшой участок реальной научной проблемы для анализа.

Для самореализации школьников и их профориентации проектная деятельность является более важной, чем решение олимпиадных задач, т.к. она приводит к проявлению интереса к познавательной активности и приобщению к научно-исследовательской работе и, в дальнейшем, определяет профориентацию школьников.

**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ!**