

Миллиметровые и субмиллиметровые проекты и инструменты Астрокосмического Центра ФИАН

Рудницкий А. Г., Лихачев С. Ф., Голубев Е. С.,
Архипов М. Ю., Ларченкова Т. И. и др.

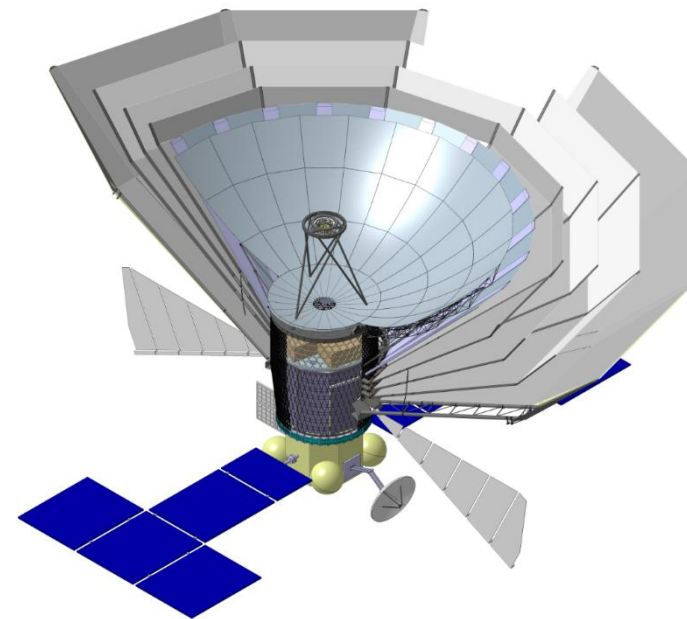
Астрокосмический Центр ФИАН



Обсерватория «Миллиметрон»

Первый в мире 10 метровый раскрываемый и охлаждаемый телескоп с адаптивной оптикой для наблюдений в миллиметровом, суб-миллиметровом и дальнем ИК диапазонах

- Раскрываемая и охлаждаемая антенна диаметром 10 метров
 - Обсерватория создается в рамках Федеральной космической программы (ГК «Роскосмос»)
 - Миллиметровый, суб-миллиметровый и даль
 - Адаптивная поверхность антенны
 - Активная бортовая система охлаждения ($< 10\text{K}$)
 - Орбита в окрестностях точки Лагранжа L2, 1.5 млн. км от
 - Активный срок существования: 10 лет; охлаждение > 3 год
 - Два режима наблюдений:
 - КРСДБ: 0.8 - 3 мм + режим многочастотного синтеза
- Ширина полосы увеличена до 4 ГГц**
Объем бортовой памяти увеличен до 384 Тб
 - Одиночный телескоп: 0.08 - 3 мм



Доклад Е. С. Голубева
Доклад Т. И. Ларченковой

Наземные телескопы



Доклад М. Ю. Архипова

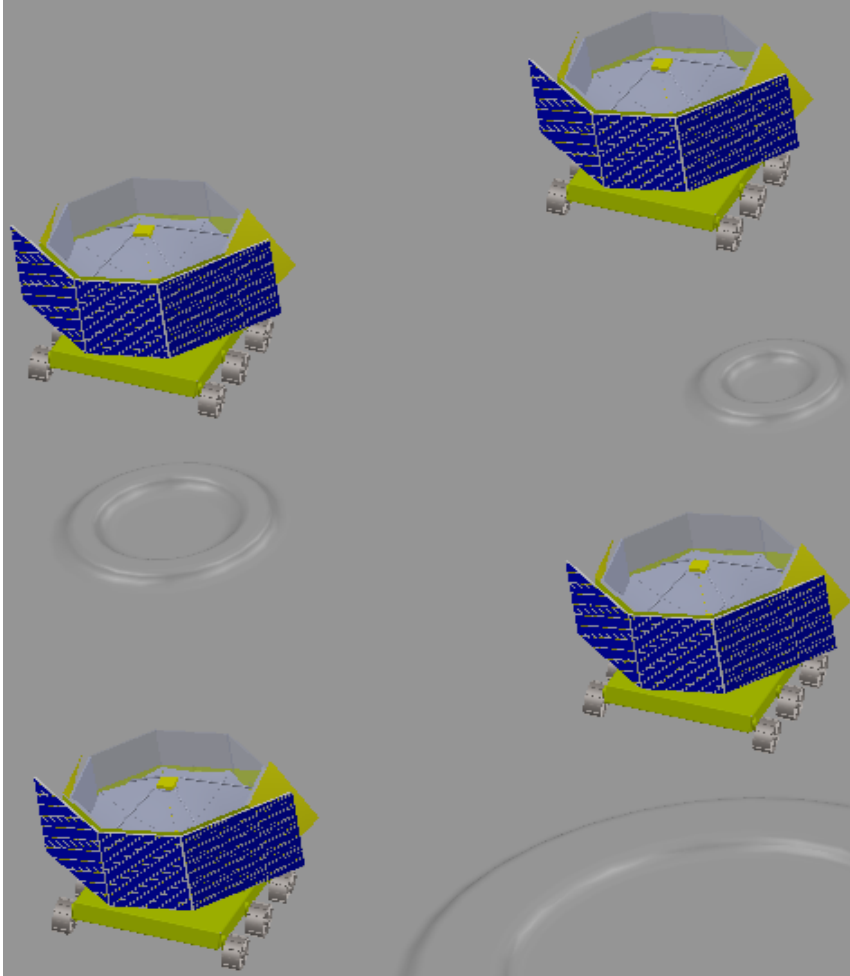
- АКЦ ФИАН прорабатывает вопросы создания наземных телескопов миллиметрового диапазона:
 - Наземная компактная антенная решетка (антенны диаметром 6-9 м)
 - Крупные антенны (модернизация РТ-22 в ПРАО до ~ 7 мм и новые антенны диаметром 20+ м)
 - Частотные диапазоны: 86, 230, 345 ГГц (многочастотный синтез)
- Ведется поиск наиболее подходящих площадок на территории РФ

Телескоп на поверхности Луны



- Поверхность Луны идеальная для проведения длительных наблюдений на высоких частотах ($>> 345$ ГГц, и до 6 ТГц)
- АКЦ ФИАН прорабатывает концепцию миллиметровой обсерватории на поверхности Луны. Рассматривается несколько вариантов исполнения
- Ведутся работы над наземным демонстратором для отработки ключевых технологий
- Проект рассматривается в рамках создания МНЛС

Концепция



Цель – создание лунного роботизированного комплекса антенн для наблюдений в диапазоне 0.1 – 6 ТГц

Состав: 4 модуля-телескопа с антеннами диаметром 3 м

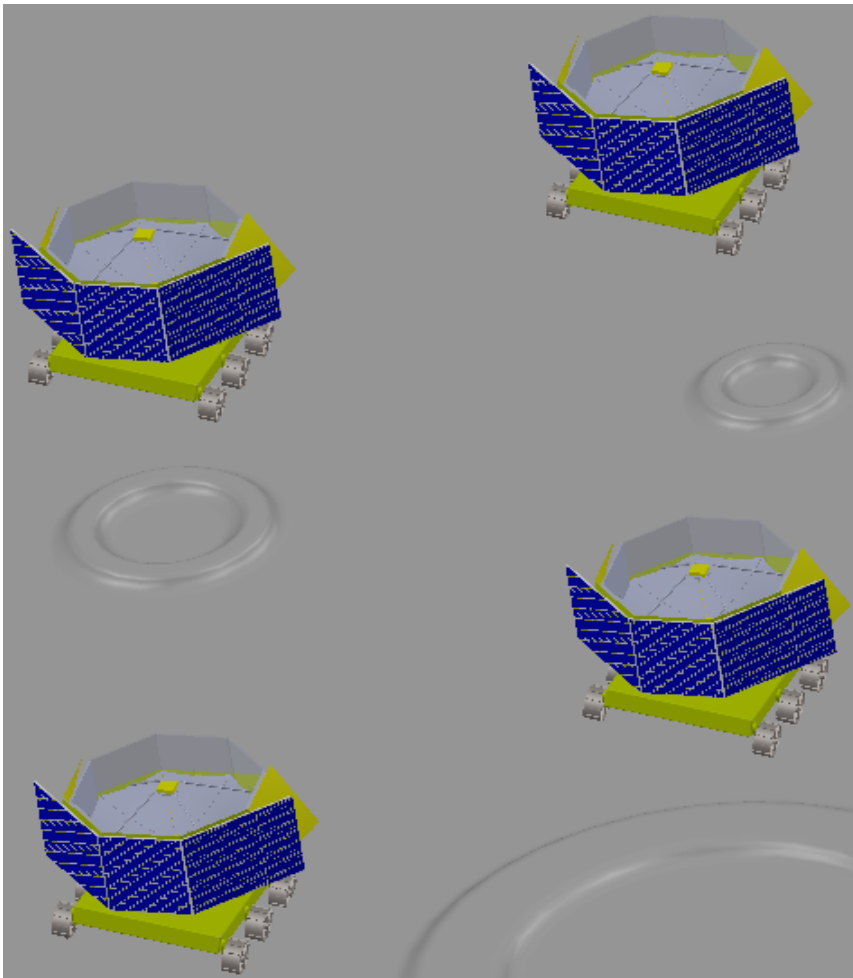
Этапы развертывания:

- Одиночный телескоп

Компактная фазированная антенна решетка:

- Два телескопа (одна база)
- Три телескопа (замыкание фаз)
- Четыре телескопа (замыкание амплитуд)

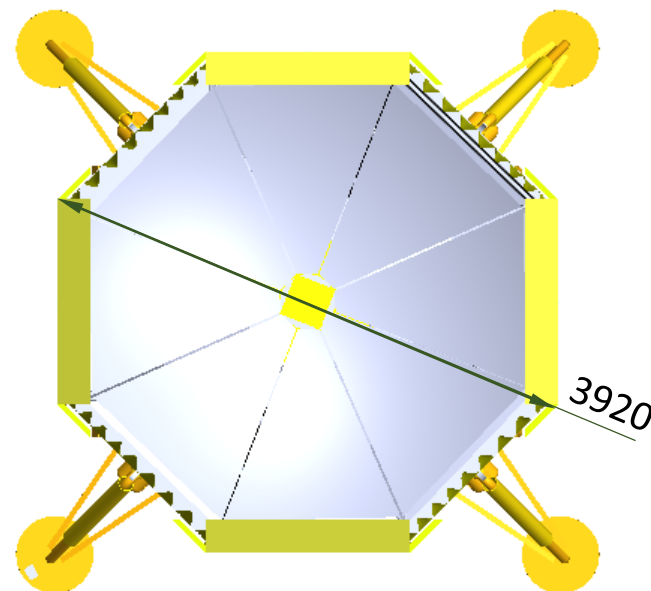
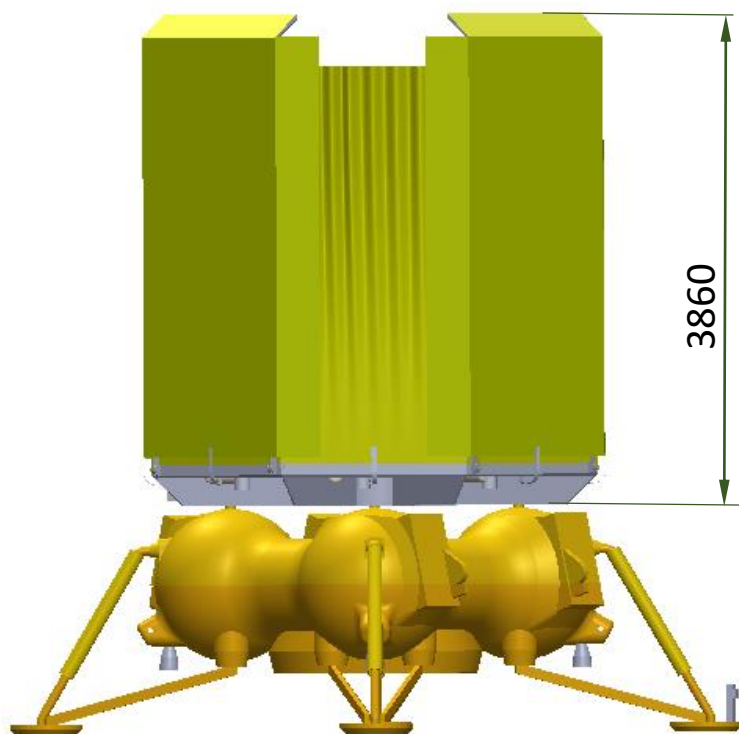
Научные задачи



- Физика ранней Вселенной (мю- и Υ -искажения частотного спектра РИ; обнаружение В-компоненты поляризации РИ)
- Крупномасштабная структура Вселенной, параметры плазмы в скоплениях галактик и филаментах
- Происхождение и физика СМЧД (изучение тонкой структуры теней СМЧД и КН) в режиме РСДБ наблюдений
- Физика межзвездной среды (звздообразование, образование и перенос воды во Вселенной, образование сложных органических молекул)
- Гравитационные эксперименты, поиск темной материи

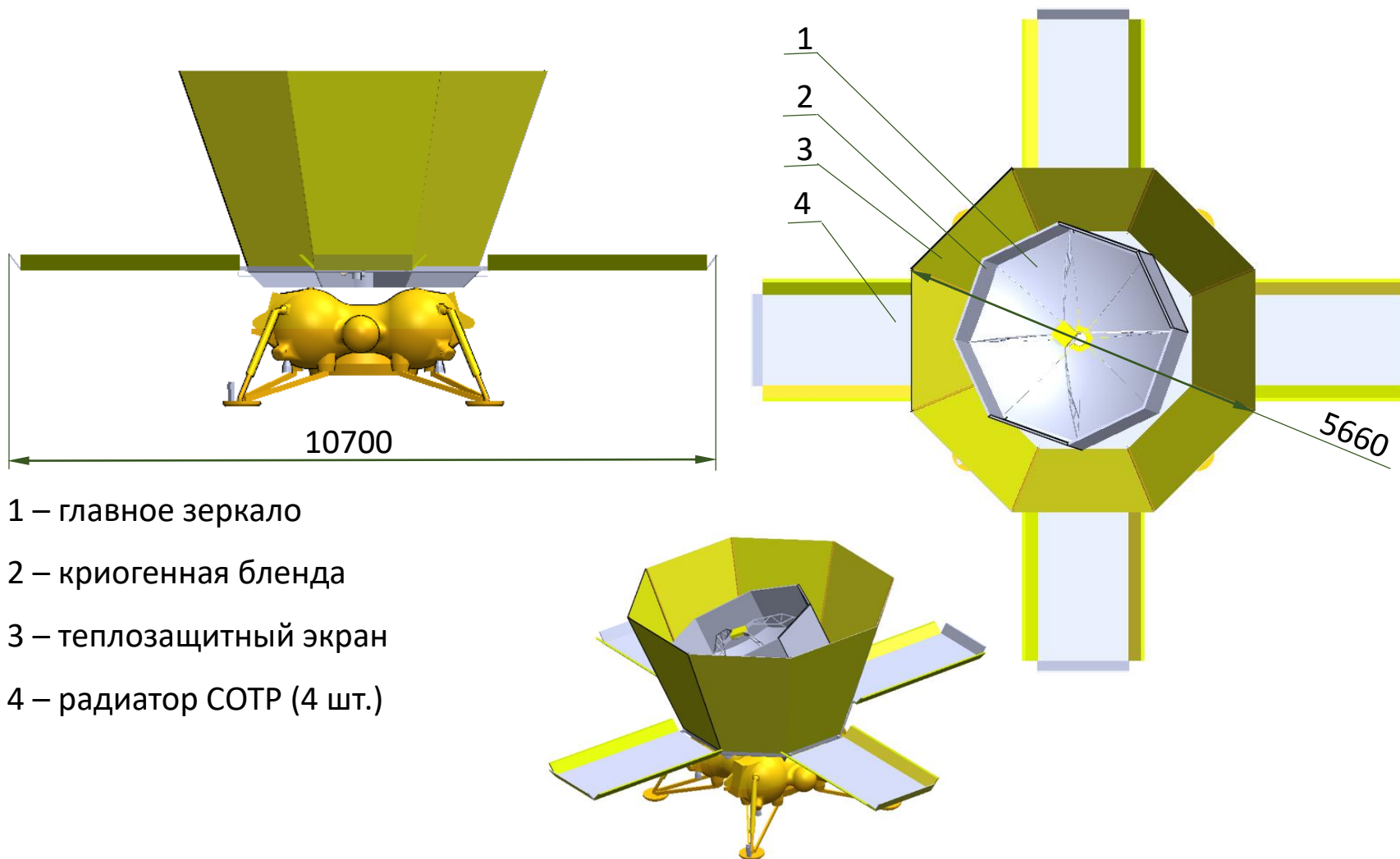
Общий облик

Посадочная конфигурация одиночного модуля

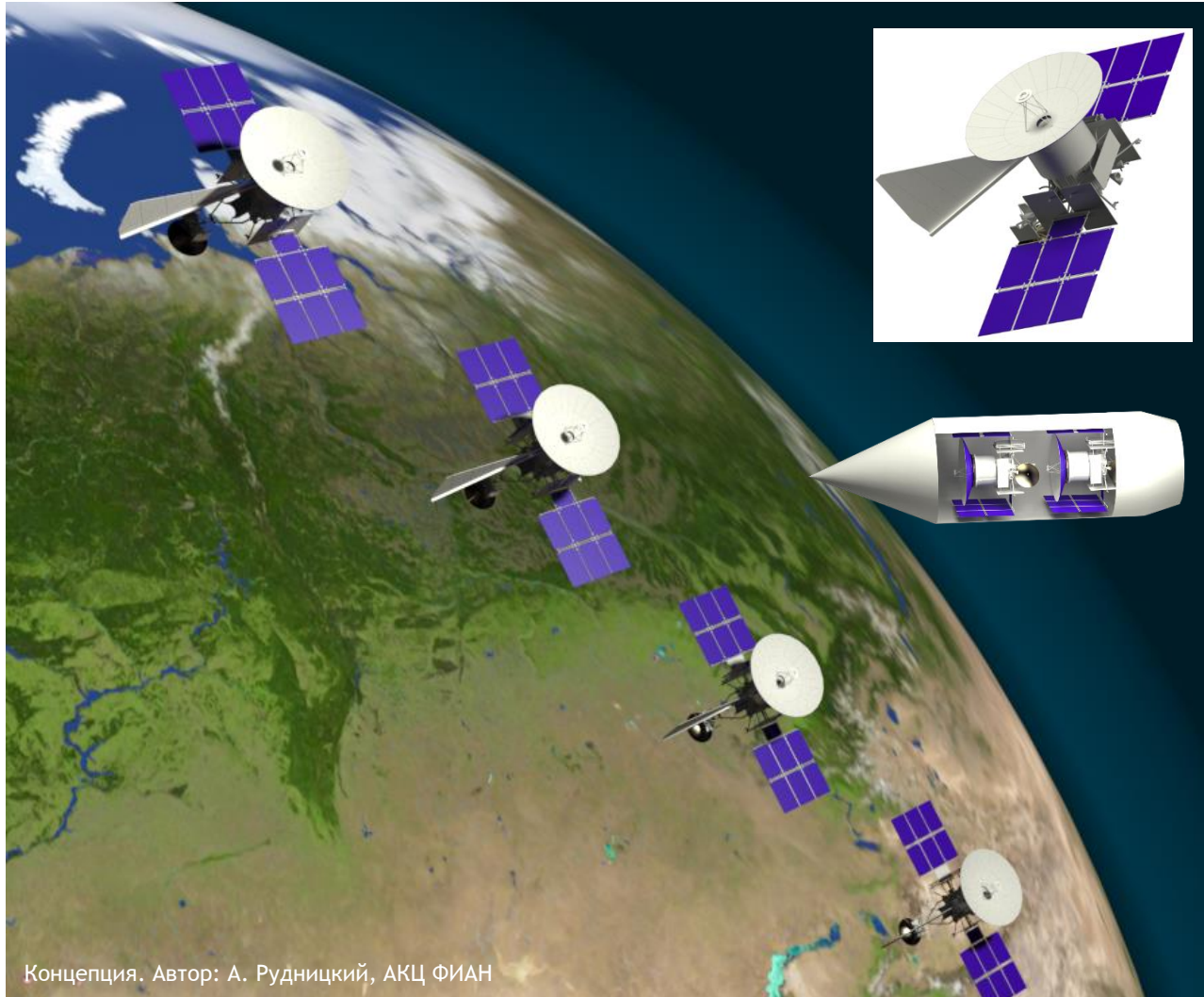


Общий облик

Рабочая конфигурация одиночного модуля



Космический интерферометр

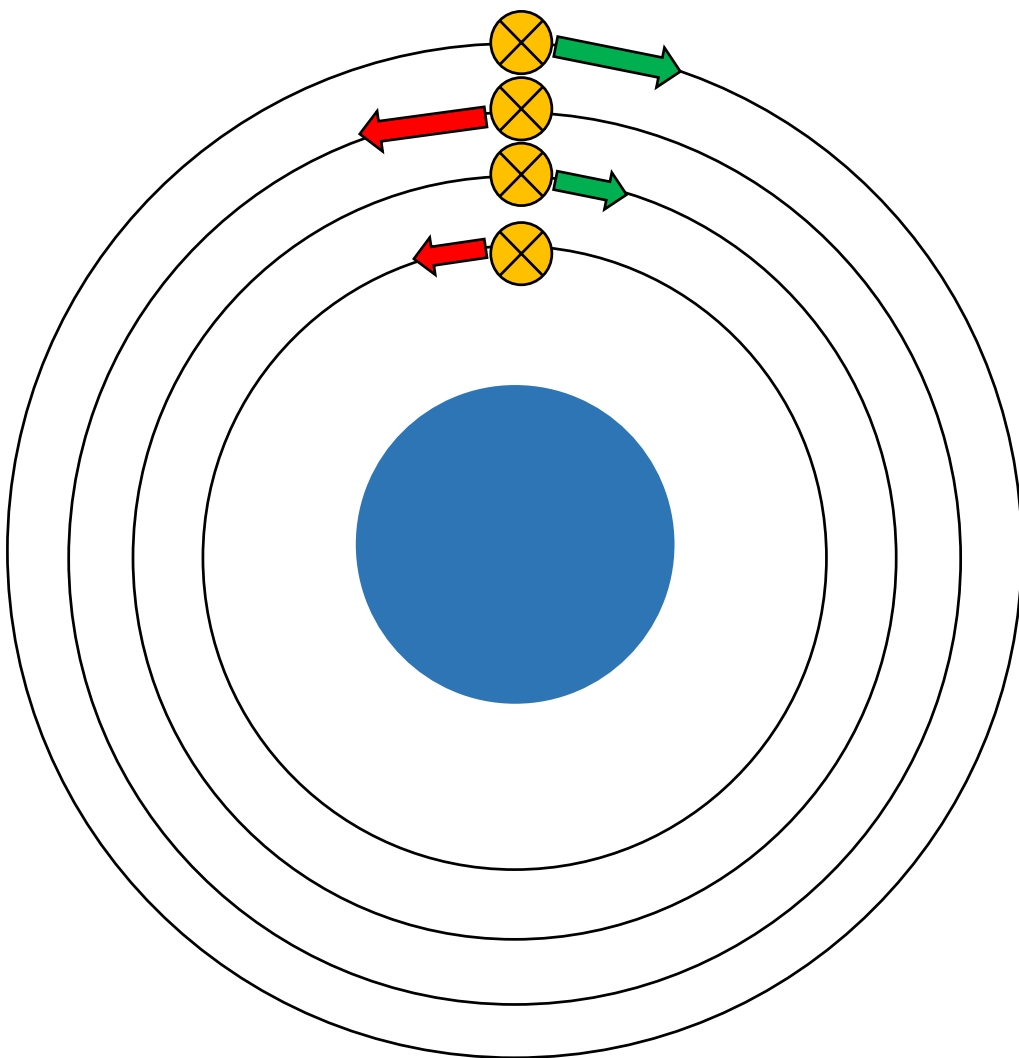


- **Состоит из 4 элементов:**
 - 3 телескопа дают замыкание фазы
 - 4 телескопа дают замыкание амплитуд
- Частота наблюдений: 690 ГГц
- Круговые околоземные орбиты
- **Элемент интерферометр:**
 - Главное зеркало: 3-4 м (диаметр)
 - Ограничения, связанные с обтекателем РН
 - Цельная конструкция
 - Приемный комплекс располагается в криостате
 - Бортовая система охлаждения
 - Другие компоненты элемента:
 - Бортовой водородный стандарт
 - Бортовая система оцифровки и хранения данных
 - Канал связи

Научные задачи

- Получение высокодетальных изображений окрестностей СМЧД (Sgr A*, M87) на частотах, недоступных на поверхности Земли (наблюдения динамики)
- Исследование двойных систем ЧД
- Наблюдений фотонных колец
- Исследование джетов
- Внегалактические источники мазерного излучения

Геометрия космического интерферометра



Рассматривалась возможная конфигурация околоземных орбит:

2 телескопа находятся на регулярных орбитах

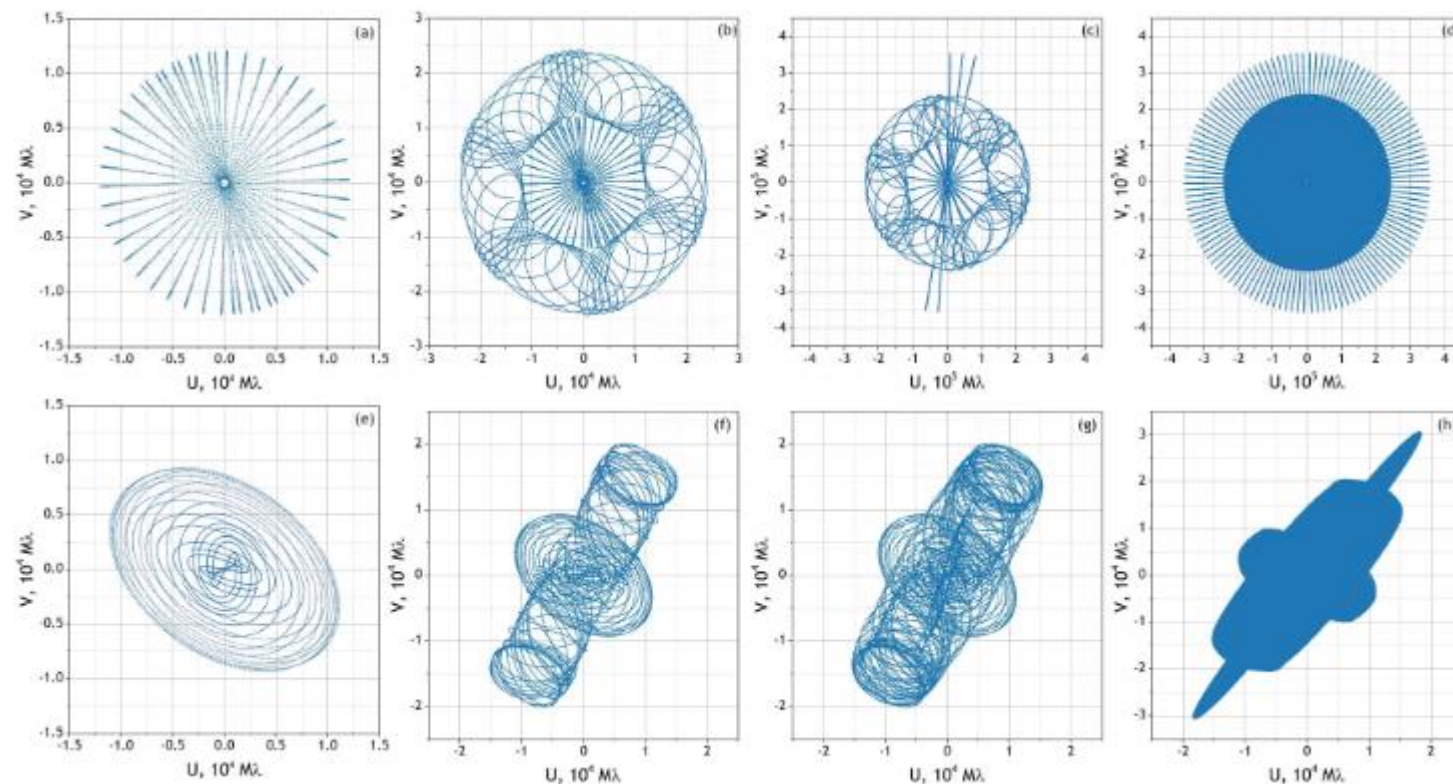
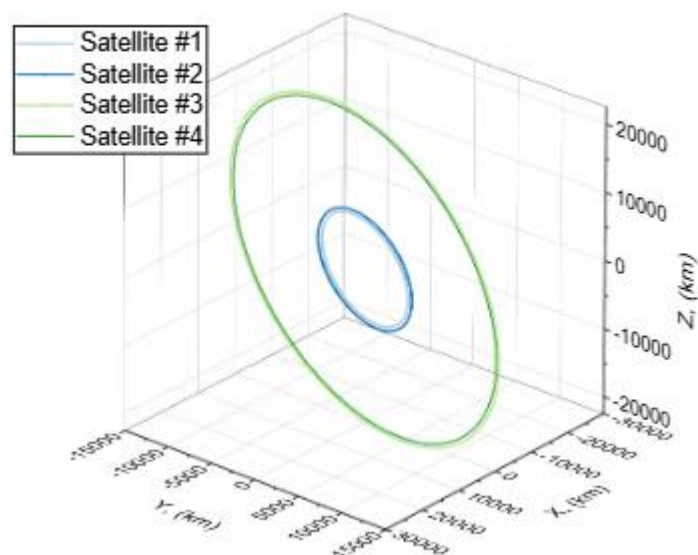
2 телескопа находятся на ретроградных орбитах

Орбиты:	7500 км (ретроградная)
	8000 км (регулярная)
	22500 км (ретроградная)
	23000 км (регулярная)

Разница высот орбит ~ 500 км.

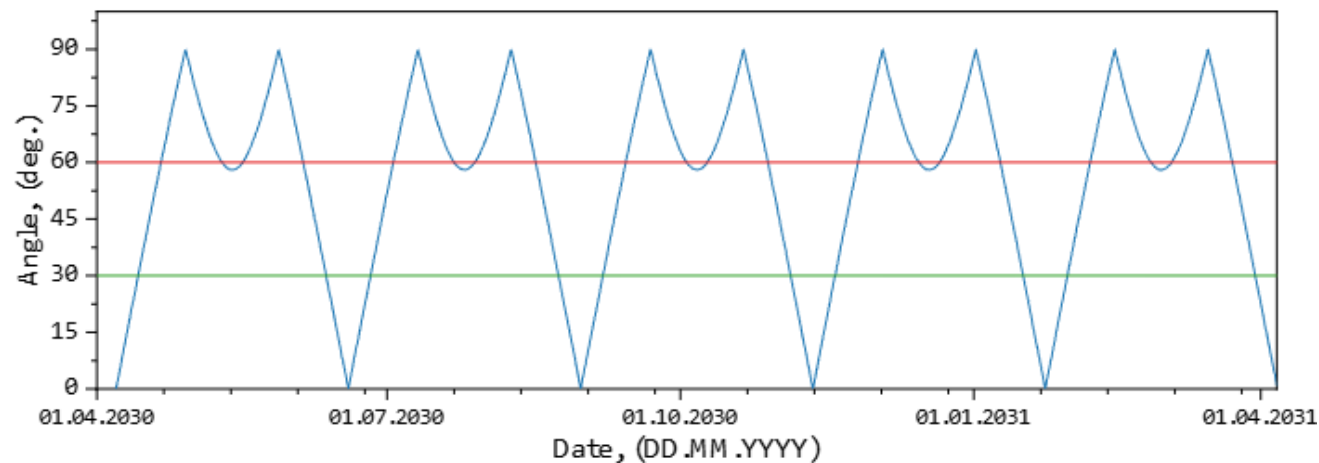
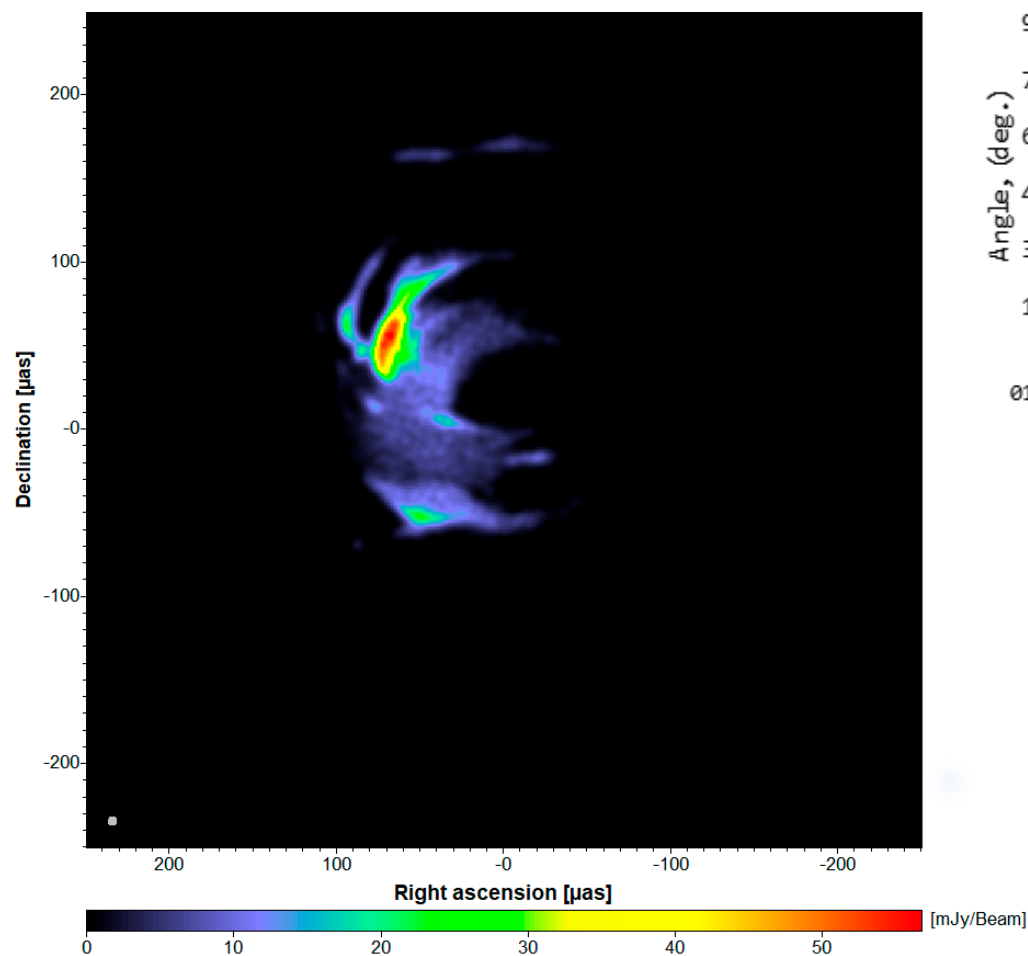
Задача: максимально сократить время получения качественного (u, v) заполнения

Геометрия космического интерферометра



(u,v) заполнение возможно получать каждые 20 часов!

Динамика СМЧД и другие источники



Сверху:

Прецессия орбиты позволяет наблюдать не только ограниченную выборку целевых источников

Слева:

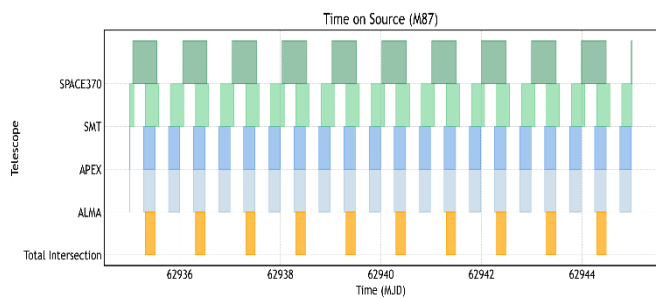
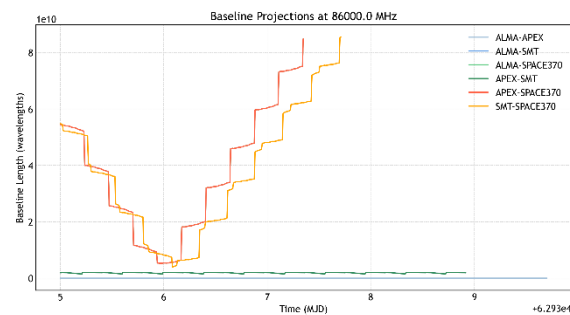
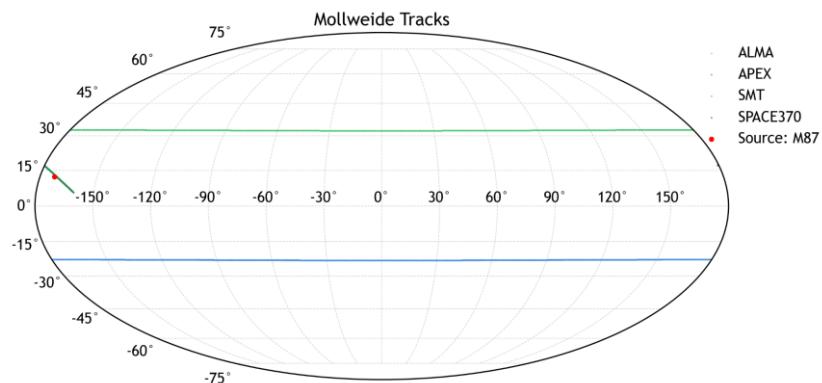
Моделирование КРСДБ наблюдений космическим интерферометром @ 690 ГГц, IF = 4 ГГц, 4 телескопа
Один «кадр» соответствует 20 часам наблюдений,
«видео» состоит из 7 кадров. Разрешение: $\sim 2 \times 2 \mu$ as

Система планирования наблюдений

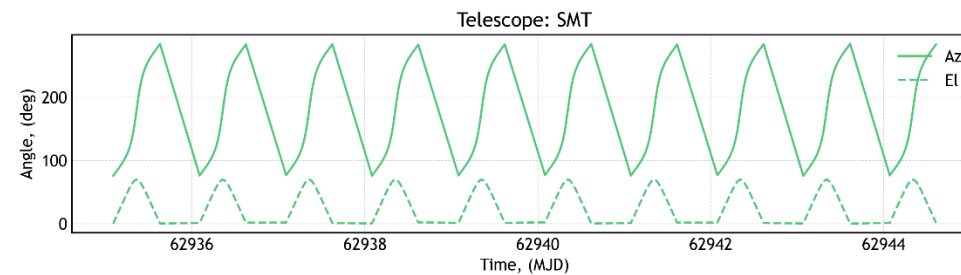
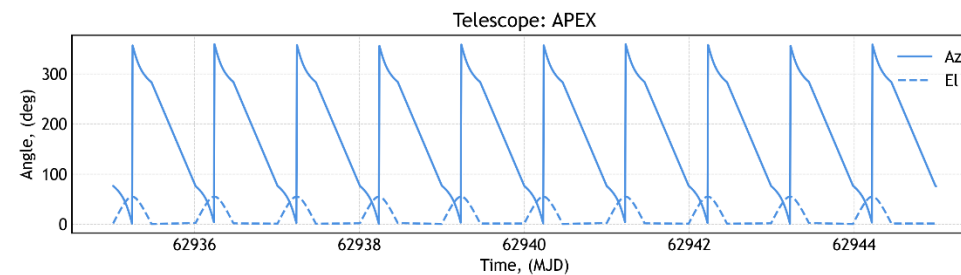
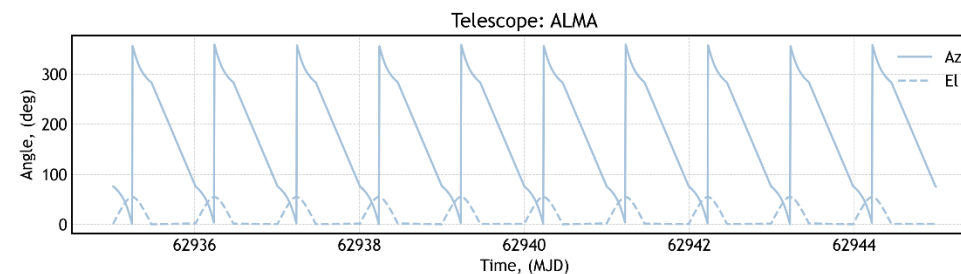


- В АКЦ ФИАН создано новое универсальное программное обеспечение для планирования радиоастрономических наблюдений – рабочее название pAstroCORE
- Основные функции:
 - Планирование VBLI/Single-dish наблюдений (наземные, космические)
 - Работа с неограниченным множеством наблюдений
 - Визуализация любой информации
 - Поточковая обработка с параллелизацией действий
 - Модульность, гибкость и расширяемость программы
 - Поддержка радиоастрономических каталогов
 - Двусторонняя поддержка форматов *.VEX, *.CFX (миграция данных в задание коррелятору/из коррелятора)
- Реализован MVP (minimal viable product):
 - Поддержка каталогов
 - Работа с наземными или космическими телескопами
 - Расчеты: видимость источников, чувствительность, углы телескопов, проекции Мольвейде, время телескопов на источнике, (u,v) , синтезированная ДН и др.
- Дополнительный функционал:
 - Сопрягаемость с любым интерфейсом (CLI, GUI, Web, Client-Server, AI/ML)
 - Универсальный формат данных (сериализуемость/десериализуемость) – поддержка JSON, XML, YML, возможность интеграции с БД
 - Поддержка многопоточных и многопроцессорных расчетов
 - Модуль для оптимизации (классические методы, ML)

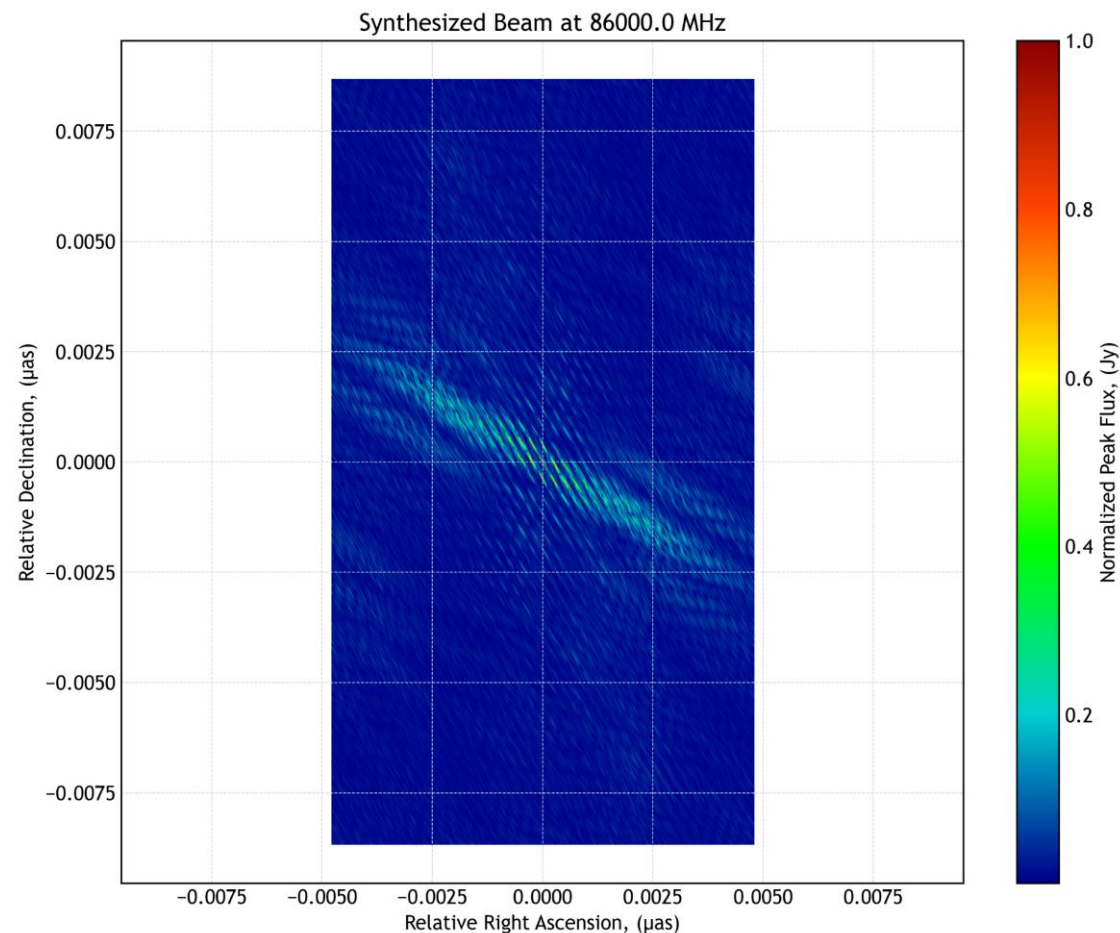
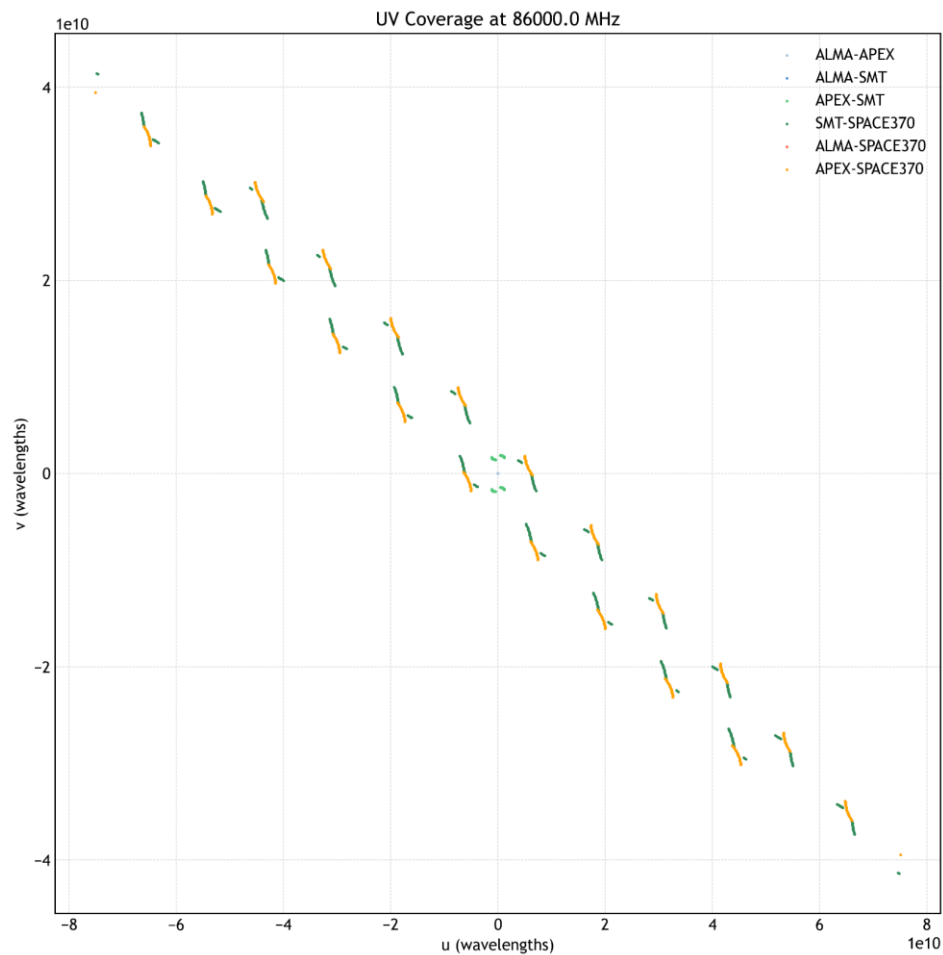
Система планирования наблюдений



Az/El or HA/Dec for M87

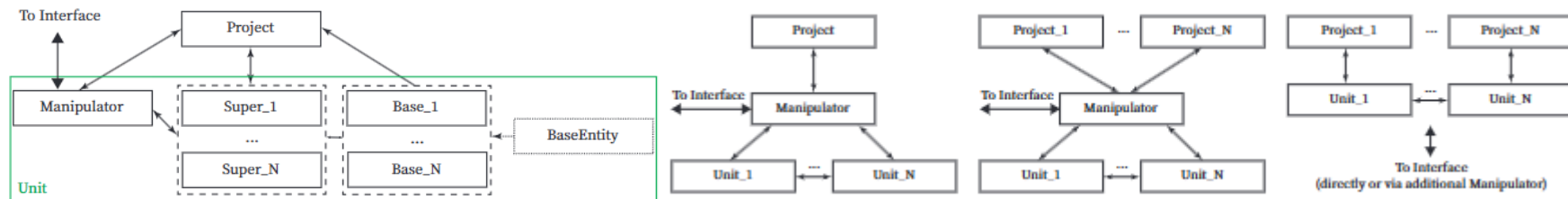


Система планирования наблюдений



Универсальная архитектура

- В рамках разработки системы планирования наблюдений создана универсальная модульная архитектура для разработки программного обеспечения (рабочее название MSB)



- Преимущества:
 - Высокий уровень абстракции позволяет создавать приложения для различных задач
 - Быстрая наращиваемость функционала без изменений уже созданного кода
 - Сопряжение с абсолютно любым интерфейсом
 - Сопрягаемость разработанных модули между собой
- В настоящий момент осуществляется перенос на архитектуру комплекса для баллистико-навигационных расчетов. После переноса он будет сопрягаем с модулем планирования наблюдений, что предоставляет практически безграничные возможности для планирования наблюдений в радиоастрономии (а с расширением и в других диапазонах электромагнитного спектра!)

Заключение

Миллиметровый диапазон длин волн в настоящее время является одним из наиболее перспективных диапазонов для проведения фундаментальных астрофизических исследований. РСДБ успешно переходит на более высокие частоты, рождаются концепции новых инструментов *наземного и космического базирования*.

Помимо успешных работ над обсерваторией «Миллиметрон», Астрокосмический Центр ФИАН:

- Ведет работы по созданию и развитию сети наземных телескопов миллиметрового диапазона (частоты 100-375 ГГц) в том числе **в виде антенных решеток**. Ведутся работы по созданию демонстратора, исследуются подходящие площадки на территории РФ.
- Прорабатывает концепцию *космического интерферометра*, который будет работать на частоте 690 ГГц. Один из вариантов исполнения: использование 4 телескопов на околоземных орбитах (пары ретроградных и регулярных орбит). Такой подход позволит получить высококачественные изображения СМЧД примерно за 20 часов и динамические изображения. Данный проект имеет высокий уровень готовности.
- Прорабатывает концепцию *миллиметровой обсерватории на поверхности Луны* в рамках реализации МНЛС

Для обеспечения грамотного планирования научных миссий был создан **универсальный программный модуль для планирования радиоастрономических наблюдений**. Разработана уникальная модульная программная архитектура для организации **единого программного комплекса для баллистико-навигационного обеспечения и планирования наблюдений научных космических миссий**.



Благодарю за внимание!

Алексей Рудницкий
Заместитель руководителя
Астрокосмический Центр ФИАН
Моб.: +7(903)006-29-05
E-mail: arud@asc.rssi.ru