

# Применение антенны AX-Offset D90 для изучения астрофизических источников, включая Солнце, методами радиоинтерферометрии

*И.В. Архангельская\*, А.В. Виноградская\*\*, И.Д. Зарипов,  
Е.А. Рудакова, А.И. Архангельский, А.И. Маджидов,  
Е.Н. Часовиков, Е.И. Плотникова, В.В. Минасян, А. И. Маджидов,  
Т. А. Курмашева*

*Национальный исследовательский ядерный университет  
"МИФИ", Москва, 115409, Россия*

*\*IVArkhangelskaya@mephi.ru  
\*\*vinogradskaaanna0@gmail.com  
radiotelescopemephi@gmail.com*

# Экстремальное энерговыделения в астрофизических источниках, включая Солнце



процессы ускорения и взаимодействия элементарных частиц и ядер.

**продолжительные исследования, НО!!!!**

- **Отсутствие единого мнения и моделей, описывающих механизмы и природу активности таких астрофизических объектов**
- **Существующие теории не способны объяснить их всех наблюдательных проявлений**



**Актуальным является проведение изучения таких источников с хорошим угловым разрешением**

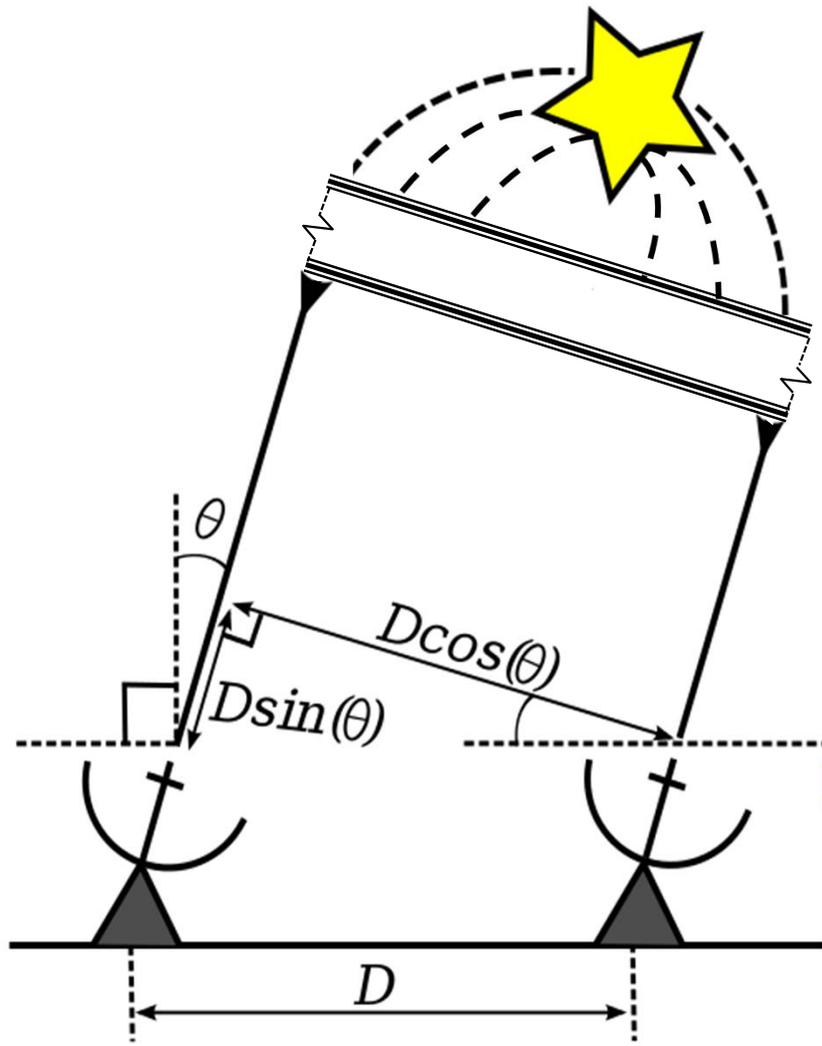
**В частности, при помощи радиоинтерферометрии – метода, основанного на приёме космического радиоизлучения несколькими далеко разнесёнными антеннами и интерференции принятых сигналов, в частности с использованием антенны AX-Offset D90.**

**Радиоинтерферометр - инструмент для радиоастрономических наблюдений с высоким угловым разрешением**

**2 или несколько антенн** - разнесены на большое расстояние  
- кабельная или ретрансляционная линия связи.

**Угловое разрешение интерферометра  $\Leftarrow$  расстояние  $D$  между крайними зеркалами решетки, выраженное в длинах волн (рад)**

**от источника – плоская волна**



**разность хода лучей  $\Delta$ ,**

$$\Delta = D * \sin \theta$$

**в противофазе волны первый раз**

**окажутся при  $\Delta = \frac{\lambda}{2}$  и  $\theta = \arcsin \frac{\lambda}{2D}$**

**При большем количестве периодически расположенных антенн ширина главного максимума и угловое разрешение**

**системы  $\Phi = \frac{\lambda}{D}$ , где  $D$ -расстояние между крайними антеннам**

**С чего все начиналось...**

**проект являлся**

II Весенняя научная сессия СНО НИЯУ МИФИ – 2024

---

**поддержкой инициативы  
1 курса по развитию и**

## **Конструирование и инжиниринг**

**популяризации**

### **Создание мобильного радиотелескопа**

**радиоастрономии и**

Виноградская Анна Валериановна<sup>\*1</sup>, Воскобойников Дмитрий Олегович<sup>1</sup>,  
Зарипов Илья Денисович<sup>1</sup>, Смирнов Григорий Романович<sup>1</sup>, Третьяков  
Станислав Сергеевич<sup>1</sup>

**науки в НИЯУ МИФИ**

<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ

\*e-mail: [vinogradskaaanna0@gmail.com](mailto:vinogradskaaanna0@gmail.com)

#### **Аннотация**

В данной работе предлагается уникальное устройство мобильного радиотелескопа, предназначенного как для составления карты звездного неба, так и для точечной съемки небесных объектов. Механизм характеризуется своей конструкционной простотой и общедоступностью деталей

**Схема радиотелескопа  
с изготовленной тарелкой  
и монтировкой**

**Предлагалось последующее создание  
радиоинтерферометра на территории НИЯУ МИФИ**



## Функционирует в настоящее время:

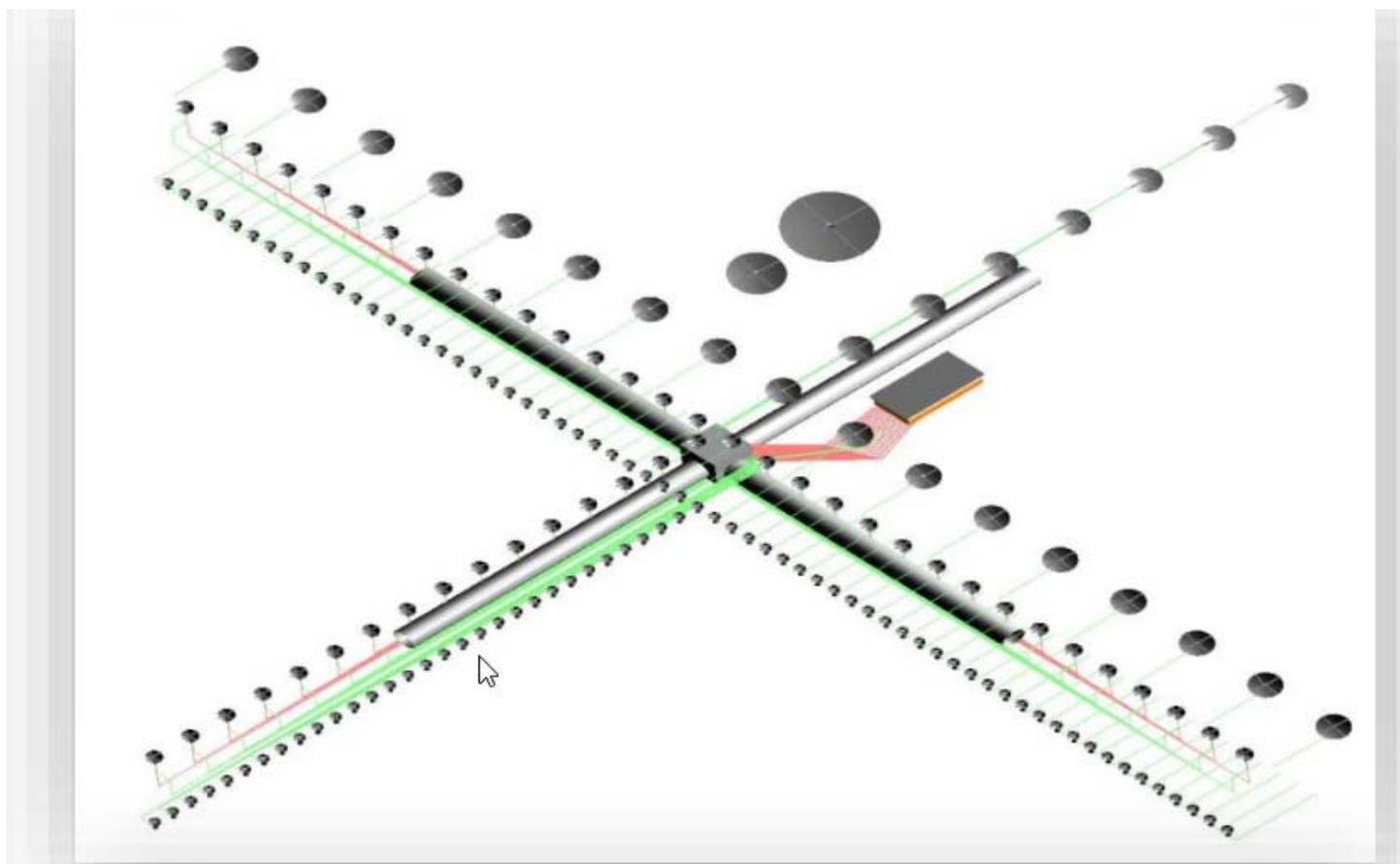
**Многоволновой радиогелиограф Национального гелиогеофизического центра РАН (Институт солнечно-земной физики СО РАН).**

Расположен в радиоастрофизической обсерватории «Бадары», на трёх решётках инструмента установлены 528 поворотных устройств с антеннами. Радиогелиограф работает в диапазоне от 3 до 24 ГГц. Тип антенны – Т-образные решетки (комбинация полукрестов Христиансена)



**Многоволновой радиогелиограф Национального гелиогеофизического центра РАН (Институт солнечно-земной физики СО РАН).**

**Схема антенного поля: тип антенны - 3 Т-образных  
решетки с длиной луча до 1 км:  
3–6 ГГц, диаметр антенн 3 м, 96 антенн  
6–12 ГГц, диаметр антенн 1.8 м, 192 антенны  
8–24 ГГц, диаметр антенн 1 м, 224 антенны**





**LTE800/GSM900/LTE1800/LTE2100/UMTS2100/LTE2600/5G**

**Была разработана модель антенного модуля на основе AX-Offset D90, отличающегося компактными размерами и доступностью деталей. AX-Offset D90 - рефлектор сетчатый офсетный 90см**

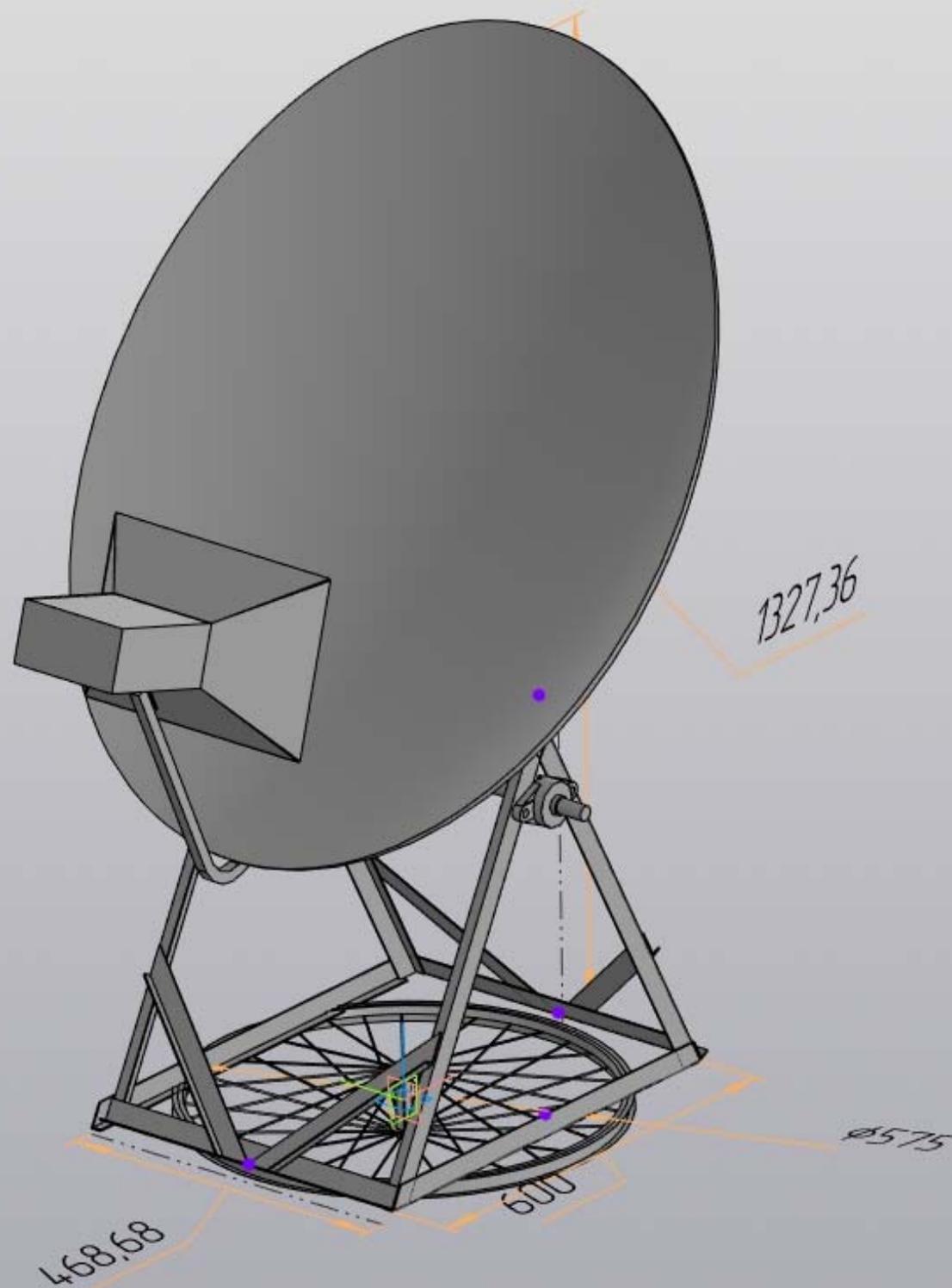
### **Преимущества:**

- У мелких зеркал меньше уровень кроссполяризации
- Мелкие зеркала облучаются более равномерно, чем глубокие, что позволяет получить более узкую диаграмму направленности и более высокий коэффициент усиления
- Уменьшено затенение полезной площади зеркала
- Предупреждено скопление внутри чаши атмосферных осадков

### **Недостатки:**

- Широкий раскрыв антенны приводит к увеличению боковых лепестков диаграммы направленности, а следовательно, и уровня шума

**В настоящее время  
AX-Offset D90 ~7500 руб  
SDR-приемник~4500 руб**



**Создана модель  
сетчатой антенны AX-  
Offset D90, которая будет  
использована**

**Дополнительно снизу  
еще монтажная рама  
высотой ~0.5 м**

**Проработано крепление  
антенны с противовесом  
к подвижной оси**

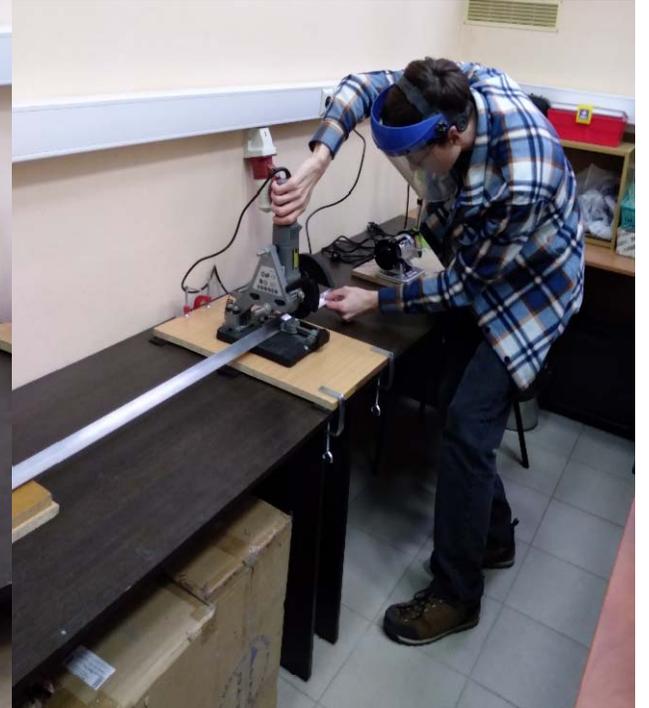
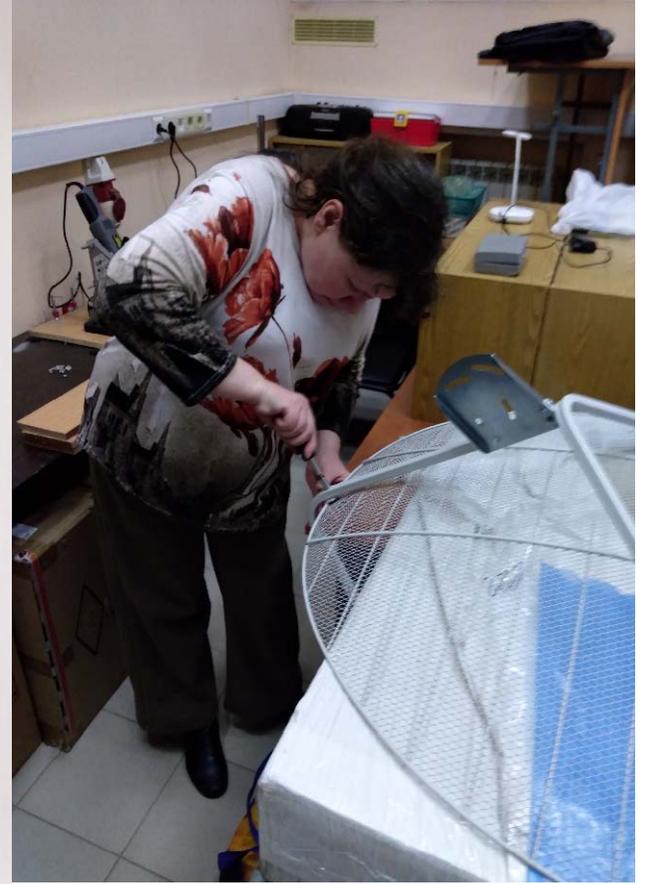
**Проработана реализация  
горизонтального и  
вертикального поворота  
антенны**

**Предусмотрено место  
под электронику и  
двигатели**



**Внешний вид сетчатой антенны, которая будет использован.**

# Сборка антенны Радиоинтерферометра МИФИst



антенна  
Радиогелиографа  
НГЦ РАН



антенна  
Радиоинтерферометра  
МИФИst



# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

Крыша корпуса К или НЛК

Кабели питания и управления в жестких коробах



тип антенны – 2 удвоенных Г-образных решетки с незаполненной апертурой, диапазон от 0.95(31.5 см) до 1.75 ГГц (17.13 см) (1420,40575 МГц – линия НI), с возможностью расширения до ~6.5 ГГц при замене приемника,



L1:К:8÷30 ОАМ, D~49м,Φ~0.20°(1,42 ГГц) 0,05°(6.5 ГГц)

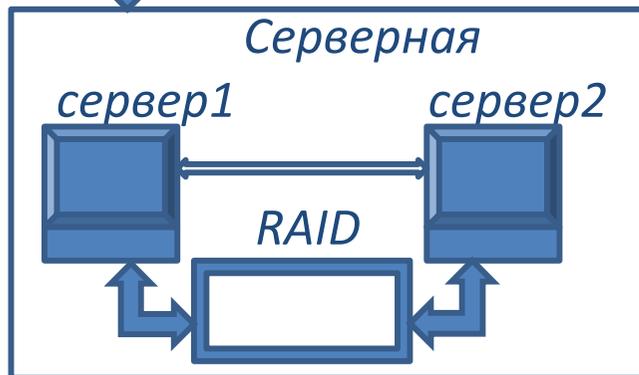
L2:НЛК: 10 ÷46 ОАМ, D~61 м,Φ~0.16°(1,42 ГГц)

0,04°(6.5 ГГц)

L1+L2: D~450 м, Φ~0.02° (1,42 ГГц) 20''(6.5 ГГц)



↕ Информационный канал1

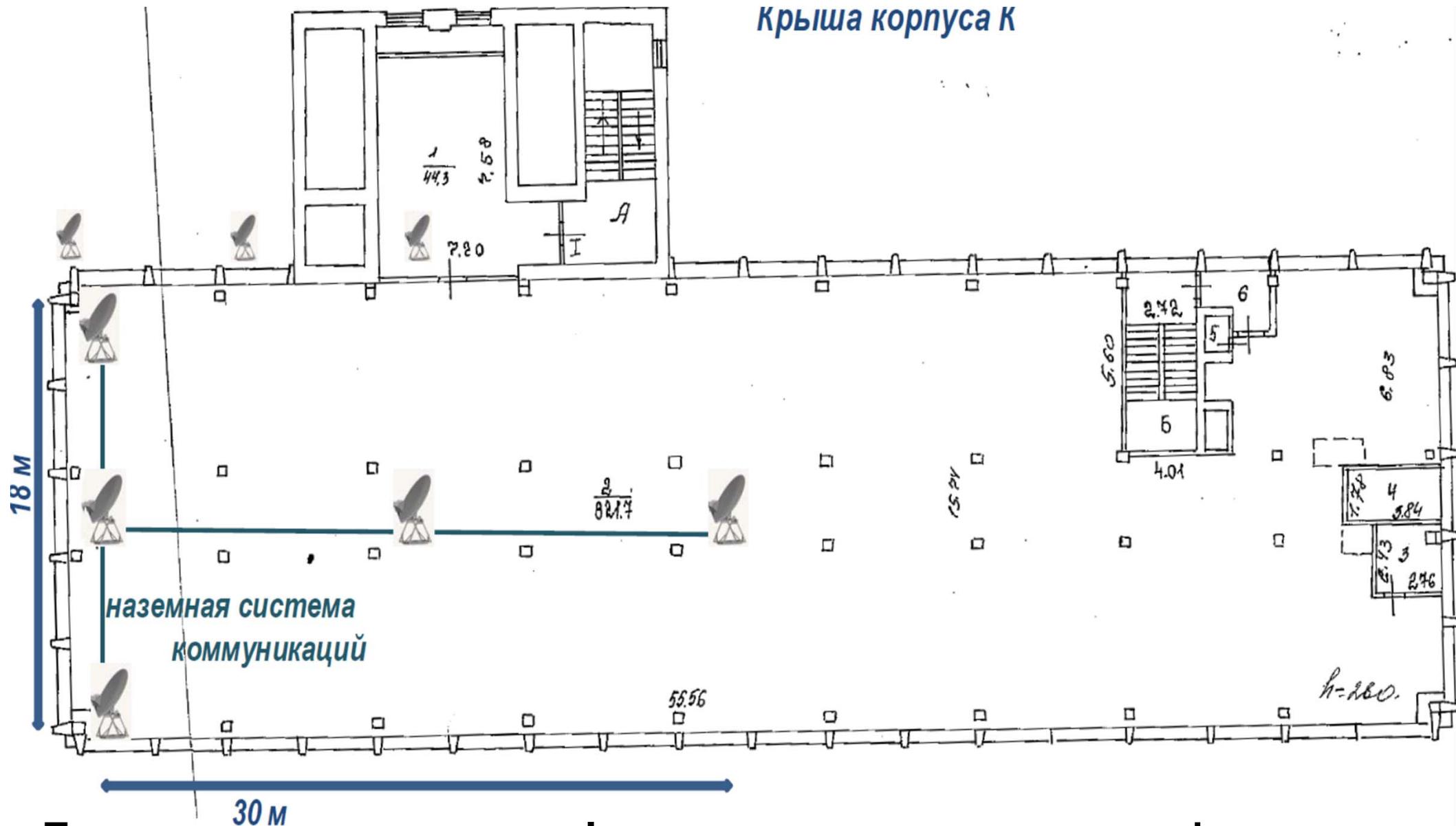


Информационный канал2

Центр обработки данных,  
Как минимум 10 компьютеров,  
2 RAID-массива + 6 ИБП

Примерная схема монтажа радиоинтерферометра МИФИst

## Крыша корпуса К

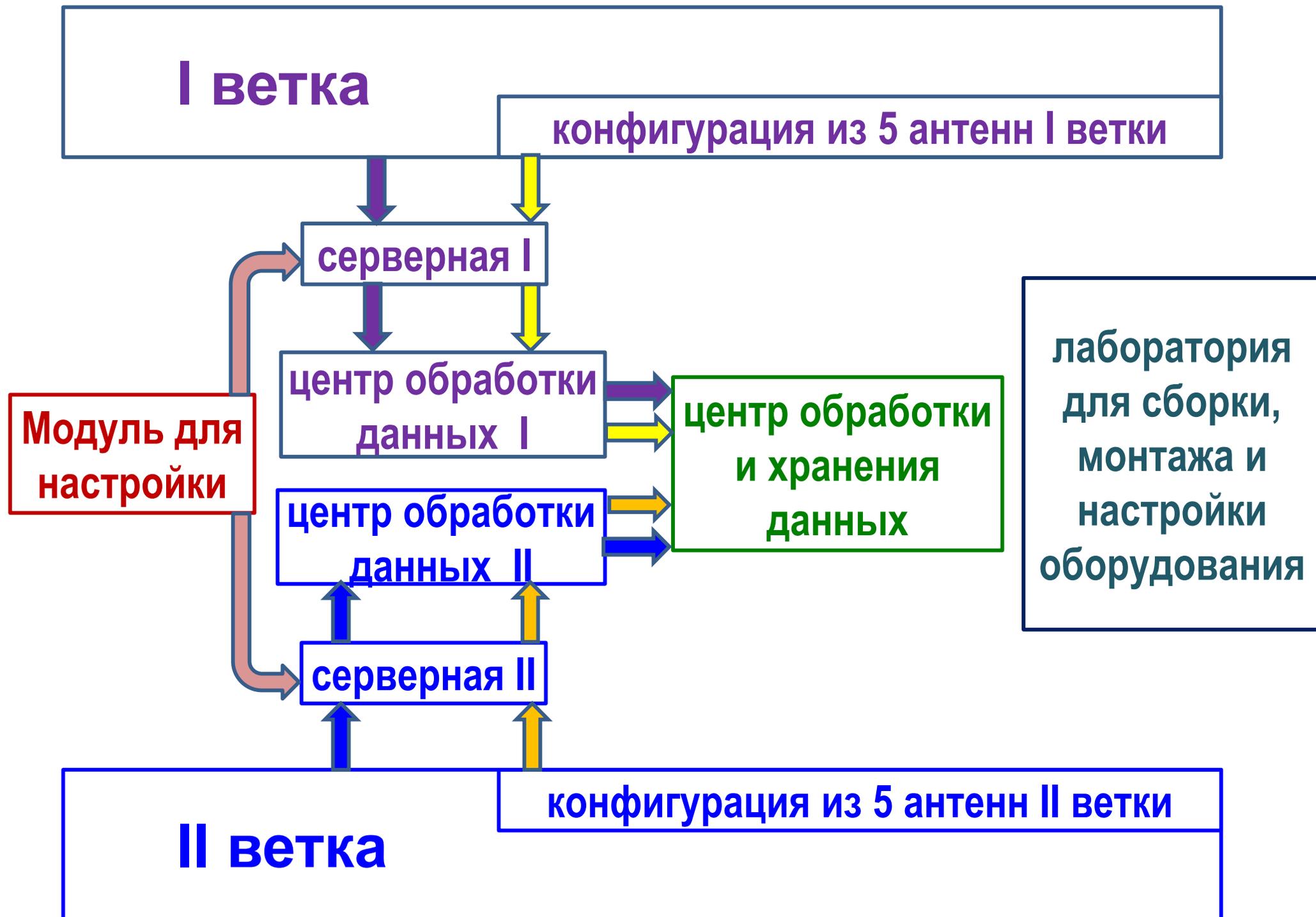


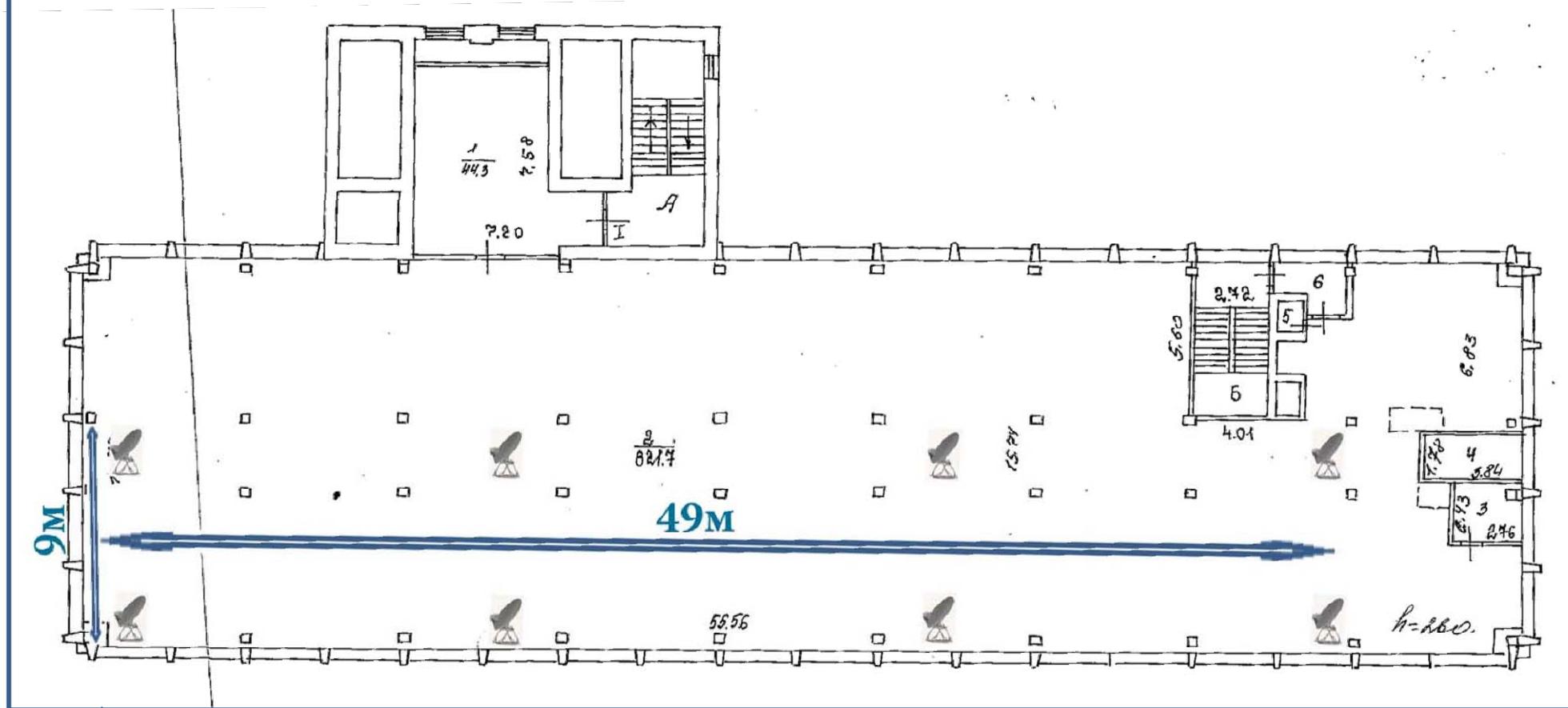
Примерная схема монтажа I ветки прототипа радиоинтерферометра МИФИst на крыше корпуса К (5 антенных модулей, размеры  $D=18 \times 30$  м<sup>2</sup>, угл. разрешение  $\sim 0,40^\circ$  на частоте 1,42 ГГц линии НI 21.1 см и  $0.09^\circ$  на частоте 6.5. ГГц. Мах размер одного плеча может быть 49 м, что обеспечит угловое разрешение  $0,05^\circ$  на частоте 6.5 ГГц.



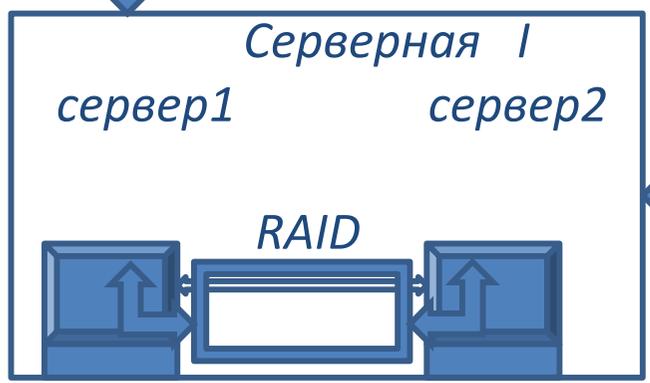
**Примерная схема монтажа II ветки прототипа радиоинтерферометра МИФИst на крыше корпуса НЛК (5 антенных модулей, размеры  $D=28 \times 30$  м, угл. разрешение  $\sim 0,40^\circ$  на частоте 1,42 ГГц линии НI 21.1 см и  $0.09^\circ$  на частоте 6.5 ГГц. Max размер одного плеча может быть 61 м, что обеспечит угловое разрешение  $0,04^\circ$  на частоте 6.5 ГГц.**

# Состав уникальной научной установки "Радиоинтерферометр МИФИst"

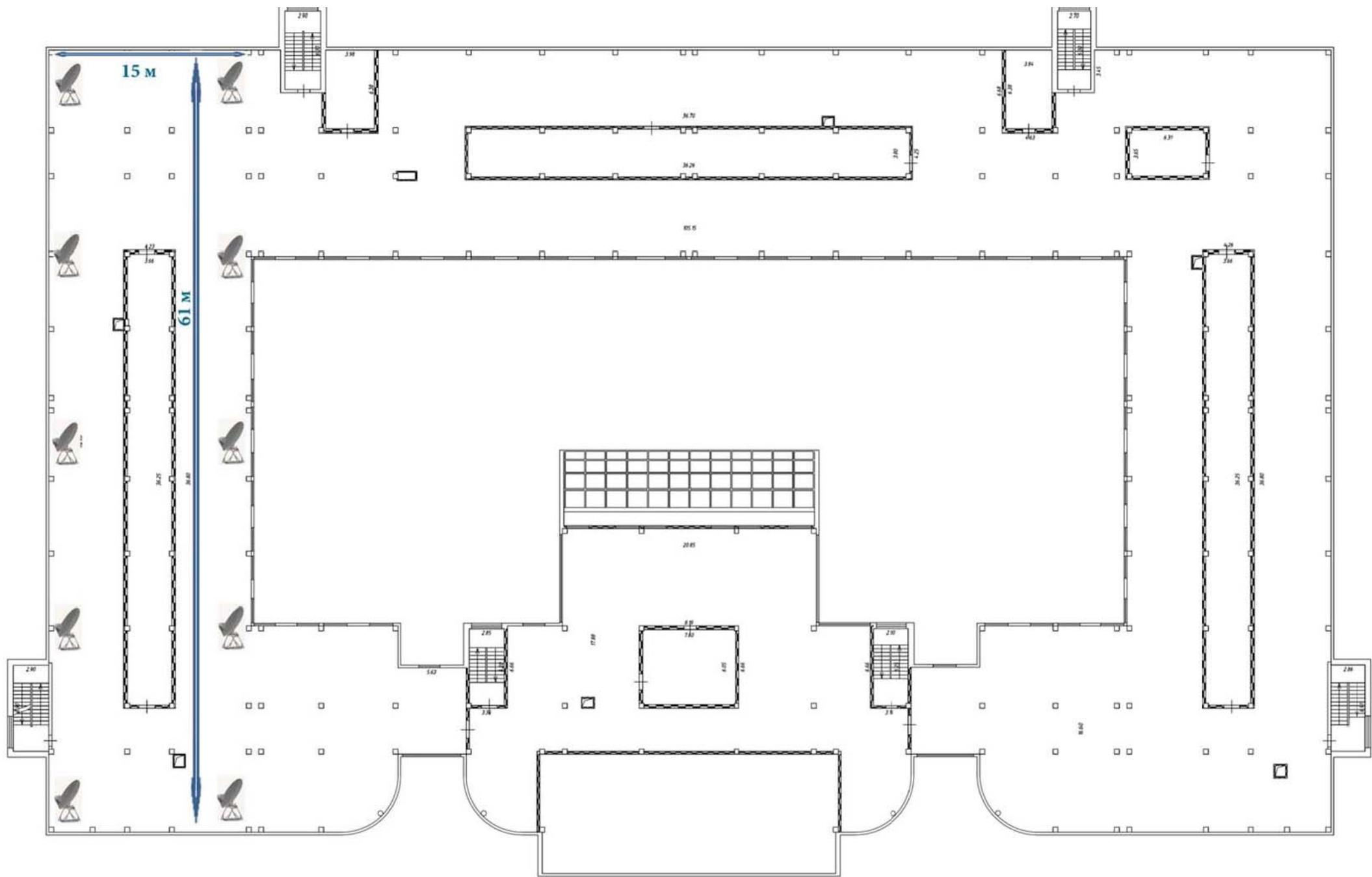




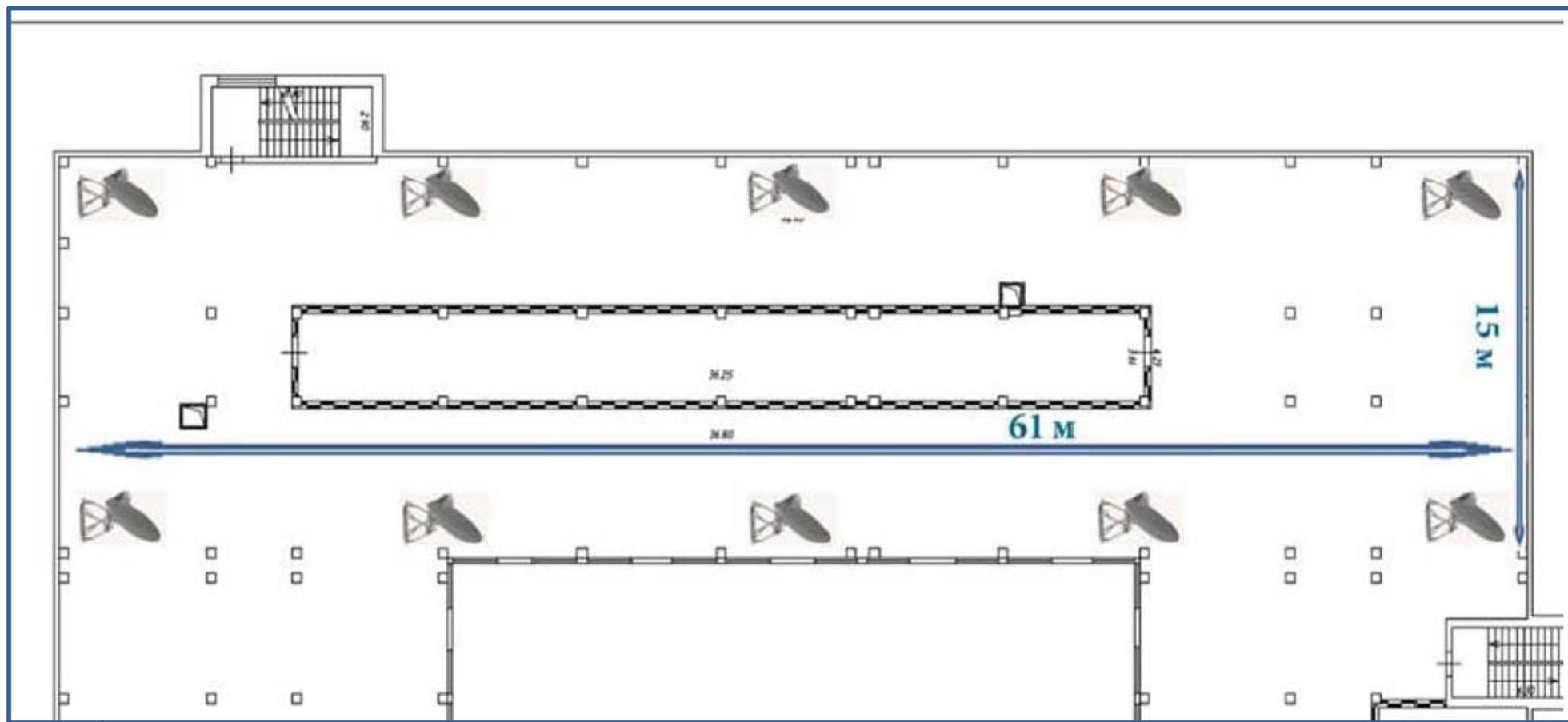
↕ Информационный канал 1



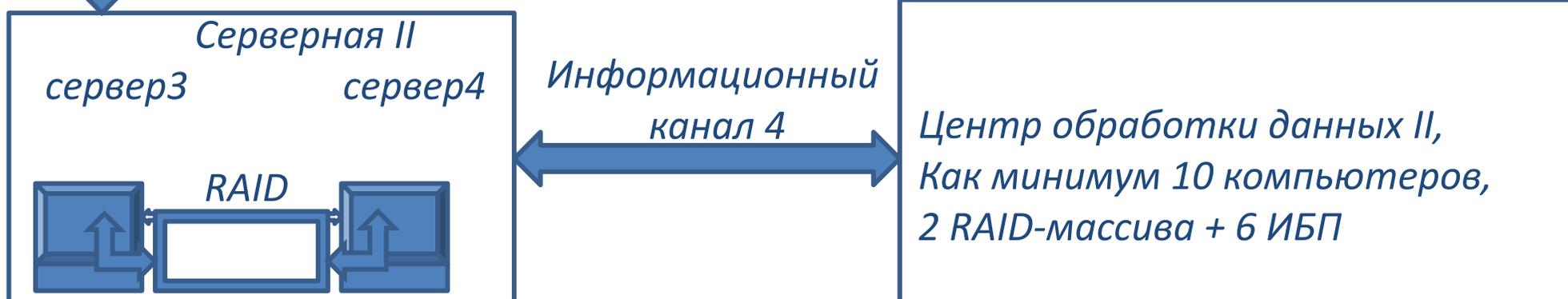
**Примерная схема монтажа 1 ветки радиointерферометра МИФИst на крыше корпуса К, От 8 до 30 ОАМ, D~49м, Φ~0.20°(1,42 ГГц) 0.05°(6.5 ГГц)**



**Примерная схема монтажа 2 ветки радиоинтерферометра МИФИst на крыше корпуса НЛК, От 10 до 46 ОАМ,  $D=61$  м,  $\Phi \sim 0.16^\circ$  (1,42 ГГц)  $0.04^\circ$  (6.5 ГГц)**



↕ Информационный канал 3



**Примерная схема монтажа 2 ветки радиоинтерферометра МИФИst на крыше корпуса НЛК, От 10 до 46 ОАМ, D=61 м,  $\Phi \sim 0.16^\circ$  (1,42 ГГц)  $0.04^\circ$  (6.5 ГГц)**

# Научные задачи радиointерферометра МИФИst

## 1) Солнце:

### 1) Изучение солнечных вспышек:

- 1) идентификация механизмов ускорения электронов, вспышечного нагрева плазмы и процессов переноса энергии в атмосфере Солнца;
- 2) обнаружение и исследование волновых процессов и ударных волн в солнечной атмосфере;
- 3) анализ радиопрозрачности элементов грануляции.

### 2) Изучение «спокойного» Солнца:

- 1) исследование эволюции крупномасштабных структур в атмосфере Солнца с временными масштабами порядка цикла солнечной активности;
- 2) развитие методов индексирования солнечной активности по характеристикам радиоизлучения;
- 3) совместная работа с Многоволновым радиогелиографом НГЦ РАН (ИСЗФ СО РАН) позволит изучать радиопрозрачность элементов грануляции в атмосфере Солнца.

# Научные задачи радиointерферометра МИФИst

2) Изучение излучения в линии водорода H I 21 см (1420,40575 МГц) при различных  $z$  - например, межзвёздных облаков водорода на космологических расстояниях в галактиках и протогалактиках, формировавшихся на ранних стадиях эволюции Вселенной.

3) Галактика:

1) Дискретный радиоисточник Sgr A в диапазоне  $> 1$  ГГц;

2) Радиогало Галактики;

3) Облака нейтрального водорода в линии 21 см;

4) Дискретные источники линий молекулы OH I = 18 см

5) Изучение распределений в линиях HII (1415 МГц),

$\text{H}^3$  (1516.7015 МГц),  $\text{Na}^{23}$  (1771.6262 МГц),  $\text{Al}^{27}$  (1506.1010 МГц) ...

6) Изучение рекомбинационных линий.

4) Транзиентные источники:

1) Изучение вариативности периода радиопульсаров;

2) Исследование радиоизлучения магнетаров;

3) Изучение радиовсплесков.

5) Анализ радиоизлучения ШАЛ

## Заключение

- Рассматривается возможность использования параболических сетчатых офсетных антенн AX-Offset D90, для крепления которых применяется моторизованная альт-азимутальная монтировка, для создания прототипа научной установки "Радиоинтерферометр МИФИst" и собственно радиоинтерферометра радиоинтерферометр МИФИst с незаполненной апертурой общим размером  $\sim 450$  м и  $\Phi \sim 0.02^\circ$
- Прототип радиоинтерферометра МИФИst будет содержать 2 ветки T-образных решеток из 5 основных антенных модулей (ОАМ) на основе AX-Offset D90 каждый.
- В состав радиоинтерферометра МИФИst входят 2 ветки с длиной луча 49 м и 61 м, в каждой из которых по 2 удвоенных Г-образных антенных решетки из нескольких десятков ОАМ.
- Рабочий диапазон радиоинтерферометра МИФИst составляет 0,3 - 1,75 ГГц, в дальнейшем планируется смещение его верхней границы до 6.5 ГГц.

## Заключение

- Создание радиointерферометра МИФИst позволит проводить изучение радиоизлучения от астрофизических источников, включая Солнце.
- Изучение солнечного радиоизлучения даст возможность продолжить идентификацию механизмов ускорения электронов, вспышечного нагрева плазмы и процессов переноса энергии, а также исследовать ударные волны и эволюцию крупномасштабных структур в солнечной атмосфере. Эти результаты обеспечат дальнейшее развитие методов индексирования и мониторинга солнечной активности по характеристикам радиоизлучения.
- Радиointерферометр МИФИst может быть использован для изучения излучения в линии водорода H<sub>I</sub> 1420,40575 МГц при различных красных смещениях  $z$ , например, от протогалактик и галактик на космологических расстояниях, что даст возможность прояснить некоторые космологические закономерности и выявить принципы для построения еще одной новой уникальной шкалы Gal<sub>z</sub> (кроме CMB и SN ) для прояснения проблемы H<sub>0</sub>-tension

## Заключение

- Также будут изучаться свойства магнетаров и радиовсплесков, вариативность периода некоторых радиопульсаров и т.д.
- Обсуждается возможность использования радиоинтерферометра МИФИst для анализа радиоизлучения ШАЛ;
- Информация будет публиковаться в ведущих базах данных, например, Visier, NED и т.д;
- При разработке и создании научной установки "Радиоинтерферометр МИФИst", и, в дальнейшем, при обработке поступающих с нее данных, студенты получат огромный практический опыт, который они смогут использовать в проектной деятельности, преддипломной практике, а также при подготовке выпускных квалификационных работ;
- Кроме того, школьники могут тоже заниматься проектной деятельностью на экспериментально-лабораторной базе радиоинтерферометра МИФИst во время летней практики и в процессе подготовки к олимпиадам, например, Всероссийскому конкурсу научных работ школьников «Юниор».

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**



# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 1) Организация мастерской для работы над прототипом антенного модуля;
- 2) Доработка и изготовление прототипа антенного модуля, который в дальнейшем станет модулем для настройки;
- 3) Разработка программы наблюдений А для калибровки прототипа антенного модуля;
- 4) Анализ диаграммы направленности антенны прототипа антенного модуля и разработка методики подавления обратного (отрицательного) лепестков;
- 5) Разработка ПО для построения изображения с прототипа антенного модуля;
- 6) Настройка и калибровка прототипа антенного модуля;
- 7) Разработка устройства разводки фазостабильных сигналов от стандарта частоты и времени и его изготовление для антенного модуля для настройки;
- 8) Разработка РКД для прототипа антенного модуля и антенного модуля для настройки;
- 9) Доработка прототипа антенного модуля до антенного модуля для настройки;
- 10) Доработка ПО для построения изображения с антенного модуля для настройки;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 11) Калибровка антенного модуля для настройки;
- 12) Разработка программы наблюдений I и адаптация научных задач при использовании только I ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 13) Составление перечня свойств антенных модулей, необходимых для реализации программы наблюдений I;
- 14) Разработка программы наблюдений IV для калибровки 2х основных антенных модулей I ветки;
- 15) Разработка РКД для 2х основных антенных модулей I ветки ;
- 16) Разработка ПО для суммирования и отображения сигналов с 2х основных антенных модулей I ветки;
- 17) Адаптация разработанного ПО для работы с 2мя основными антенными модулями I ветки и модулем для настройки;
- 18) Изготовление устройства разводки фазостабильных сигналов от стандарта частоты и времени для работы с 2мя основными антенными модулями I ветки и модулем для настройки;
- 19) Создание прототипов серверной I и центра обработки данных I для работы с 2 мя основными антенными модулями I ветки и модулем для настройки;
- 20) Изготовление и сборка 2х основных антенных модулей I ветки;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 21) Анализ диаграммы направленности комбинации из 2х основных антенных модулей I ветки;
- 22) Настройка и калибровка комбинации из 2х основных антенных модулей I ветки;
- 23) Создание лаборатории для сборки, монтажа и настройки оборудования;
- 24) Разработка РКД для 5 основных антенных модулей I ветки;
- 25) Изготовление и сборка 3х основных антенных модулей I ветки;
- 26) Изготовление устройства разводки фазостабильных сигналов от стандарта частоты и времени для работы с 5 основными антенными модулями I ветки и модулем для настройки;
- 27) Доработка прототипов серверной I и центра обработки данных I для работы с 5 основными антенными модулями I ветки и модулем для настройки;
- 28) Адаптация разработанного ПО для работы с 5 основными антенными модулями I ветки и модулем для настройки;
- 29) Адаптация прототипов серверной и центра обработки данных для работы с 5 основными антенными модулями в составе I ветки и модулем для настройки;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 29) Адаптация программы наблюдений I при использовании только 5 основных антенных модулей I ветки радиоинтерферометра МИФИst (IC);
- 30) Размещение конфигурации из 5 антенных модулей в составе I ветки;
- 31) Анализ диаграммы направленности комбинации из 5 основных антенных модулей в составе I ветки;
- 32) Настройка, калибровка и введение в эксплуатацию комбинации из 5 основных антенных модулей в составе I ветки;
- 33) Реализация программы наблюдений IC при использовании только 5 основных антенных модулей I ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 34) Разработка программы наблюдений при использовании РСДБ\_1-5 на основе 5 антенн I ветки (ID);
- 35) Адаптация разработанного ПО для работы с конфигурацией из 5 антенн I ветки радиоинтерферометра МИФИst, внешней установки и модуля для настройки (РСДБ\_1-5 на основе 5 антенн I ветки);
- 36) Адаптация прототипов серверной I и центра обработки данных I для работы с конфигурацией из 5 антенн I ветки радиоинтерферометра МИФИst, внешней установки и модуля для настройки (РСДБ\_1-5 на основе 5 антенн I ветки);

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 36) Стыковка конфигурации из 5 антенн I ветки радиоинтерферометра МИФИst и модуля для настройки с внешней установкой (РСДБ\_1-5 на основе 5 антенн I ветки) ;
- 37) Реализация программы наблюдений ID при использовании РСДБ\_1-5 на основе 5 антенн I ветки;
- 38) Разработка РКД для I ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 39) Изготовление устройства разводки фазостабильных сигналов от стандарта частоты и времени для работы с I веткой радиоинтерферометра МИФИst и модулем для настройки;
- 40) Доработка серверной I и центра обработки данных I для работы с I веткой радиоинтерферометра МИФИst и модулем для настройки;
- 41) Пошаговое добавление (изготовление и монтаж) по 2 антенны в конфигурацию из 5 антенн для реализации I ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 42) Анализ диаграммы направленности I ветки радиоинтерферометра МИФИst;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 44) Доработка и отладка разработанного ПО для работы с I веткой радиоинтерферометра МИФИsti модулем для настройки;
- 45) Доработка I ветки радиоинтерферометра МИФИst по результатам наблюдений при использовании только 5 ее основных антенных модулей;
- 46) Анализ диаграммы направленности I ветки радиоинтерферометра МИФИst после доработки;
- 47) Настройка, калибровка и введение в эксплуатацию I ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 48) Проведение наблюдений (программа наблюдений I) астрофизических объектов с использованием I ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 49) Доработка разработанного ПО для работы с I веткой радиоинтерферометра МИФИst, модулем для настройки и внешней установкой (РСДБ\_1 на основе I ветки);
- 50) Разработка программы наблюдений при использовании РСДБ\_1 на основе I ветки (I+);
- 51) Доработка серверной I и центра обработки данных I для работы с РСДБ\_1 на основе I ветки;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 52) Стыковка I ветки радиоинтерферометра МИФИst с внешней установкой (РСДБ\_1 на основе I ветки);
- 53) Проведение наблюдений (программа наблюдений I+) астрофизических объектов с использованием РСДБ\_1 на основе I ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 54) Разработка программы наблюдений II и адаптация научных задач при использовании только II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 55) Составление перечня свойств антенных модулей, необходимых для реализации программы наблюдений II;
- 56) Разработка программы наблюдений IIB для калибровки 2х основных антенных модулей II ветки;
- 57) Разработка РКД для 2х основных антенных модулей II ветки ;
- 58) Разработка ПО для суммирования и отображения сигналов с 2х основных антенных модулей II ветки;
- 59) Адаптация разработанного ПО для работы с 2мя основными антенными модулями II ветки и модулем для настройки;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 60) Изготовление устройства разводки фазостабильных сигналов от стандарта частоты и времени для работы с 2мя основными антенными модулями II ветки и модулем для настройки;
- 61) Создание прототипов серверной II и центра обработки данных II для работы с 2 мя основными антенными модулями II ветки и модулем для настройки;
- 62) Изготовление и сборка 2х основных антенных модулей II ветки;
- 63) Анализ диаграммы направленности комбинации из 2х основных антенных модулей II ветки;
- 64) Настройка и калибровка комбинации из 2х основных антенных модулей II ветки;
- 65) Разработка РКД для 5 основных антенных модулей II ветки;
- 66) Изготовление и сборка 3х основных антенных модулей II ветки;
- 67) Адаптация программы наблюдений II при использовании только 5 основных антенных модулей II ветки радиоинтерферометра МИФИst (ИС);
- 68) Изготовление устройства разводки фазостабильных сигналов от стандарта частоты и времени для работы с 5 мя основными антенными модулями II ветки и модулем для настройки;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 69) Доработка серверной II и центра обработки данных II для работы с 5 основными антенными модулями в составе II ветки и модулем для настройки;
- 70) Размещение 5 основных антенных модулей II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 71) Отладка на реальных антеннах разработанного ПО для работы с 5 основными антенными модулями в составе II ветки и модулем для настройки;
- 72) Анализ диаграммы направленности комбинации из 5 основных антенных модулей в составе II ветки;
- 73) Настройка и калибровка комбинации из 5 основных антенных модулей в составе II ветки;
- 74) Реализация программы наблюдений IIC при использовании только 5 основных антенных модулей II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 75) Разработка программы наблюдений IID при использовании только 5 основных антенных модулей II ветки радиоинтерферометра МИФИst с внешними установками (РСДБ\_2-5 на основе 5 антенн I ветки) ;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 76) Адаптация разработанного ПО для работы с конфигурацией из 5 антенн II ветки радиоинтерферометра МИФИst, внешней установки и модуля для настройки (РСДБ\_2-5 на основе 5 антенн II ветки);
- 77) Адаптация прототипов серверной II и центра обработки данных II для работы с конфигурацией из 5 антенн II ветки радиоинтерферометра МИФИst, внешней установки и модуля для настройки (РСДБ\_2-5 на основе 5 антенн I ветки);
- 78) Стыковка конфигурации из 5 антенн II ветки радиоинтерферометра МИФИst и модуля для настройки с внешней установкой (РСДБ\_2-5 на основе 5 антенн II ветки) ;
- 79) Реализация программы наблюдений IID при использовании РСДБ\_2-5 на основе 5 антенн II ветки;
- 80) Разработка РКД для II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 81) Изготовление устройства разводки фазостабильных сигналов от стандарта частоты и времени для работы со II веткой радиоинтерферометра МИФИst и модулем для настройки;
- 82) Создание серверной II и центра обработки данных II для работы со II веткой радиоинтерферометра МИФИst;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 83) Модернизация и отладка разработанного ПО для работы со II веткой радиоинтерферометра МИФИst;
- 84) Пошаговое добавление по 2 антенны в конфигурацию из 5 антенн для реализации II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 85) Анализ диаграммы направленности II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 86) Доработка II ветки радиоинтерферометра МИФИst по результатам наблюдений при использовании только 5 ее основных антенных модулей;
- 87) Анализ диаграммы направленности II ветки радиоинтерферометра МИФИst после доработки;
- 88) Настройка, калибровка и введение в эксплуатацию II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 89) Проведение наблюдений астрофизических объектов (программа наблюдений II) с использованием II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 90) Доработка разработанного ПО для работы с I веткой радиоинтерферометра МИФИst, модулем для настройки и внешней установкой (РСДБ\_2 на основе I ветки);

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 91) Разработка программы наблюдений II+ астрофизических объектов с использованием РСДБ\_2 на основе II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 92) Доработка серверной II и центра обработки данных II для работы с РСДБ\_2 на основе II ветки;
- 93) Стыковка II ветки радиоинтерферометра МИФИst с внешними установками (РСДБ\_2 на основе II ветки);
- 94) Проведение наблюдений (программа наблюдений II+) астрофизических объектов с использованием РСДБ\_2 на основе II ветки радиоинтерферометра МИФИst;
- 95) Разработка программы наблюдений I+II при использовании 2х веток радиоинтерферометра МИФИst;
- 96) Адаптация обеих серверных и 2х центров обработки данных для работы с обеими ветками радиоинтерферометра МИФИst;
- 97) Создания центра обработки и хранения данных для работы с обеими ветками радиоинтерферометра МИФИst;
- 98) Проведение наблюдений астрофизических объектов (программы наблюдений I и II) с отдельным использованием I и II веток радиоинтерферометра МИФИst;

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

## План работ

- 99) Доработка I и II веток радиоинтерферометра МИФИst по результатам наблюдений с их отдельным использованием;
- 100) Стыковка I и II веток радиоинтерферометра МИФИst;
- 101) Анализ диаграммы направленности радиоинтерферометра МИФИst;
- 102) Настройка и введение в эксплуатацию радиоинтерферометра МИФИst;
- 103) Проведение наблюдений астрофизических объектов (программа наблюдений I+II) с использованием радиоинтерферометра МИФИst;

# Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ)

1965 г. Л.И. Матвеевко, Н.С. Кардашев, Г.Б. Шоломицкий

предложено независимо регистрировать данные на каждой антенне интерферометра, а потом совместно их обрабатывать, как бы имитируя явление интерференции на компьютере.

Позволяет разносить антенны на сколь угодно большие расстояния.

РСДБ используется с начала 1970-х годов.

В настоящее время функционируют 7 РСДБ — сетей:

1) Европейская –EVN (European VLBI Network), 19 радиотелескопов с заполненной апертурой  $\varnothing$  от 30 до 100 м, работает 3 раза в год, сессиями по несколько недель;

2) Американская –VLBA (Very Long Baseline Array), 10 радиотелескопов с заполненной апертурой  $\varnothing$  25 м каждый;

3) Японская—JVN (Japanese VLBI Network), 3 радиотелескопа с заполненной апертурой  $\varnothing$  25 м каждый и 4 астрометрических антенны  $\varnothing$  20 м каждая (проект VERA — VLBI Exploration of Radio Astrometry);

Максимальная длина базы –  $12,2 \times 10^3$  км (EVN+VLBA), угловое разрешение на волне  $\sim 3$  мм достигает  $8 \times 10^{-5}$  „

- 4) Австралийская – LBA (Long Baseline Array), 8 радиотелескопов с заполненной апертурой диаметром от 12 до 70 м;
- 5) Китайская – CVN (Chinese VLBI Network), 4 радиотелескопа с заполненной апертурой диаметром 21 м;
- 6) Южно-Корейская – KVN (Korean VLBI Network), 3 радиотелескопа с заполненной апертурой диаметром 21 м;
- 7) Российская — на основе радиоинтерферометрического комплекса – «Квазар-КВО» с 3 радиотелескопами RT-32 Ø32 м.

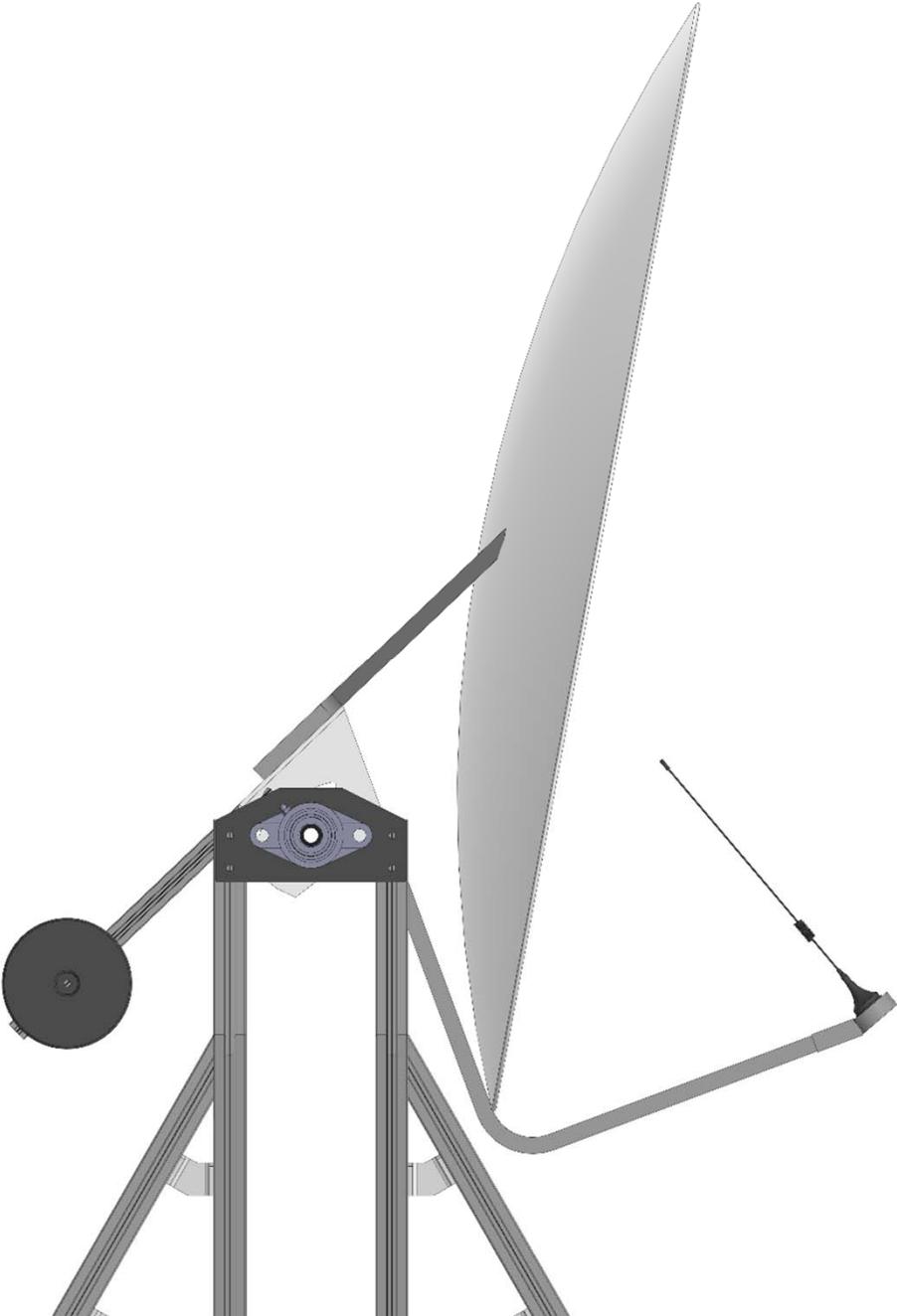
Обсуждается создание радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ) на основе радиоинтерферометра МИФИst совместно с Многоволновым радиогелиографом Национального гелиогеофизического центра РАН (ИСЗФ СО РАН), 2 радиоинтерферометра с незаполненной апертурой размером 520 м и 1 км

# Научная установка "Радиоинтерферометр МИФИst"

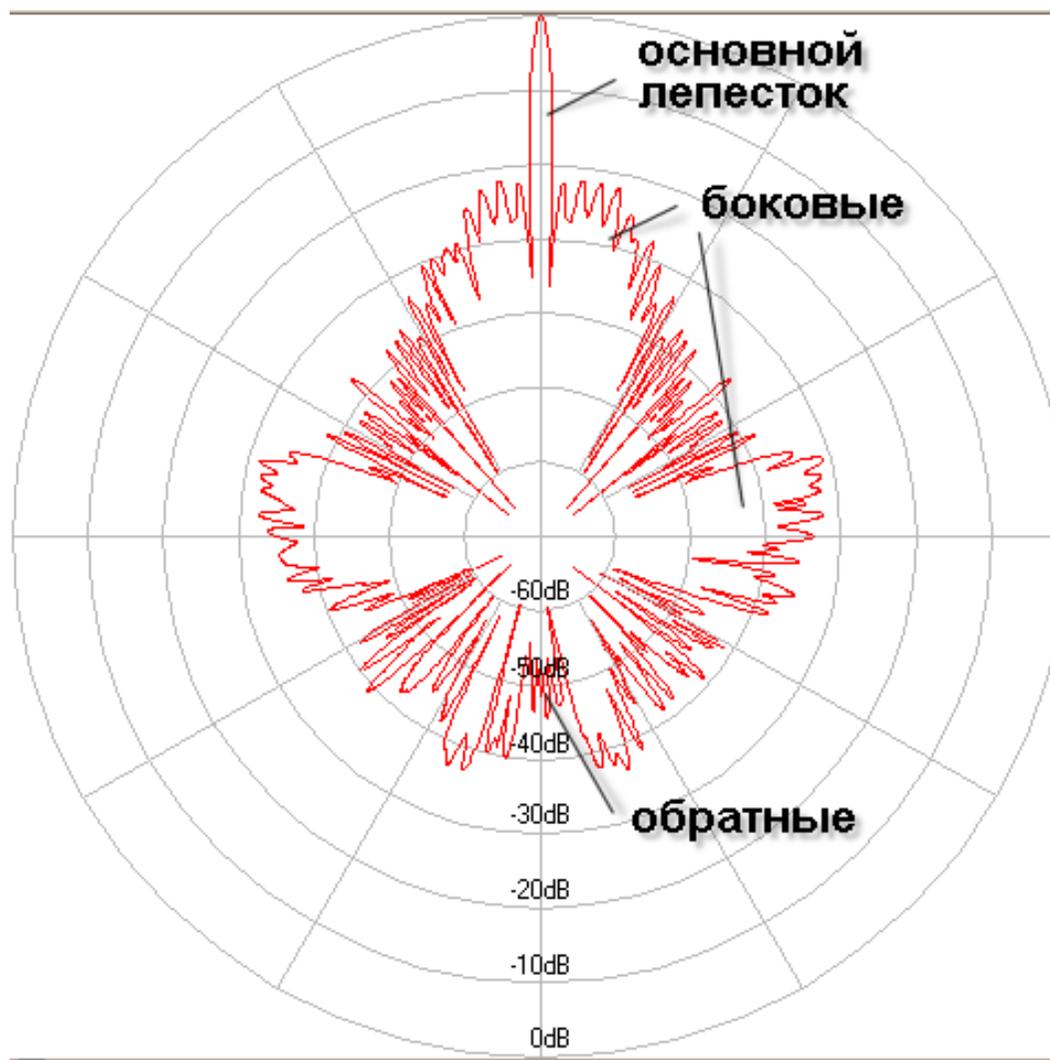
## План работ

- 104) Разработка программы наблюдений (I+II+) при использовании РСДБ\_1+2 на основе радиоинтерферометра МИФИst;
- 105) Адаптация обеих серверных, 2х центров обработки данных и центра обработки и хранения данных для работы с РСДБ на основе радиоинтерферометра МИФИst;
- 106) Стыковка радиоинтерферометра МИФИst с внешней установкой (РСДБ\_1+2 на основе радиоинтерферометра МИФИst);
- 107) Проведение наблюдений астрофизических объектов (программа наблюдений I+II+) с использованием РСДБ\_1+2 на основе радиоинтерферометра МИФИst.





Для построения диаграммы направленности выбирается яркий точечный источник на небе (зачастую - Солнце). Далее проводится серия наблюдений под разными углами, позволяющая построить распределение интенсивности в зависимости от направления, то есть искомую диаграмму направленности. Для одной антенны выглядит примерно так



**В прототипе 2 Т-образных решетки с максимальной длиной луча 30 м  
в самой установке обсуждается использование 2х удвоенных Г-образных  
решеток с длиной луча 49 м и 61 м**