



# Интегральный сверхпроводниковый спектрометр субмм волн для мониторинга атмосферы

Кошелец В.П., Филиппенко Л.В., Ермаков А.Б.,  
Дмитриев П.Н., Лапицкая И.Л., Соболев А.С.,  
Торгашин М.Ю., Худченко А.В. и Вакс В.Л.\*

*Институт радиотехники и электроники РАН, г. Москва*

*\*Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород*

In collaboration with



**Pavel Yagoubov, Ruud Hoogeveen, and Wolfgang Wild**

*SRON Netherlands Institute for Space Research, the Netherlands*

# **Интегральный сверхпроводниковый спектрометр для мониторинга атмосферы**

## **Содержание**

- **Сверхпроводниковый интегральный приемник (СИП)**
- **Проект TeraHertz Limb Sounder (TELIS)**
- **Конструкция интегрального спектрометра с ФАПЧ**
- **Микросхема интегрального спектрометра**
- **Результаты измерения спектрометра:**
  - шумовая температура; диаграмма направленности;
  - полоса ПЧ; спектральное разрешение
- **Дистанционное управление и настройка**
- **Заключение**



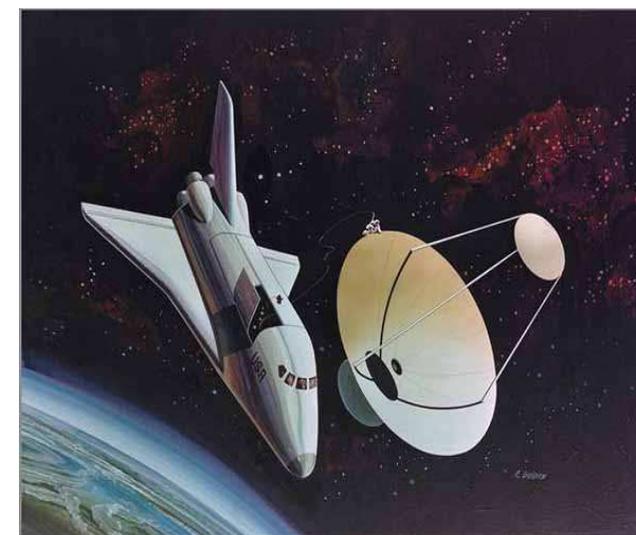
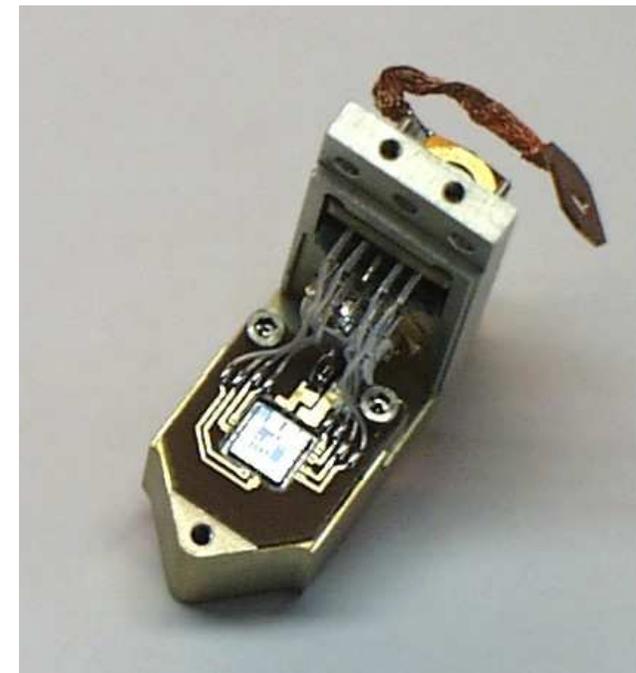
# Интегральный Приемник Субмм Волн – State of Art



- Интегральные СИС приемники со сверхпроводниковым генератором гетеродина (ФФО) были успешно испытаны в диапазоне **100 - 700 ГГц**
- Шумовая температура приемника на частоте **500 ГГц** составила **90 К ( $<4hf/k$ )**
- **9- элементный** матричный приемник был создан и успешно испытан
- Режим ФАПЧ для сверхпроводникового ФФО был реализован вплоть до **700 ГГц**

## Возможные применения

- Бортовые системы для мониторинга атмосферы и радиоастрономии
- Большие матричные приемники для наземной радиоастрономии





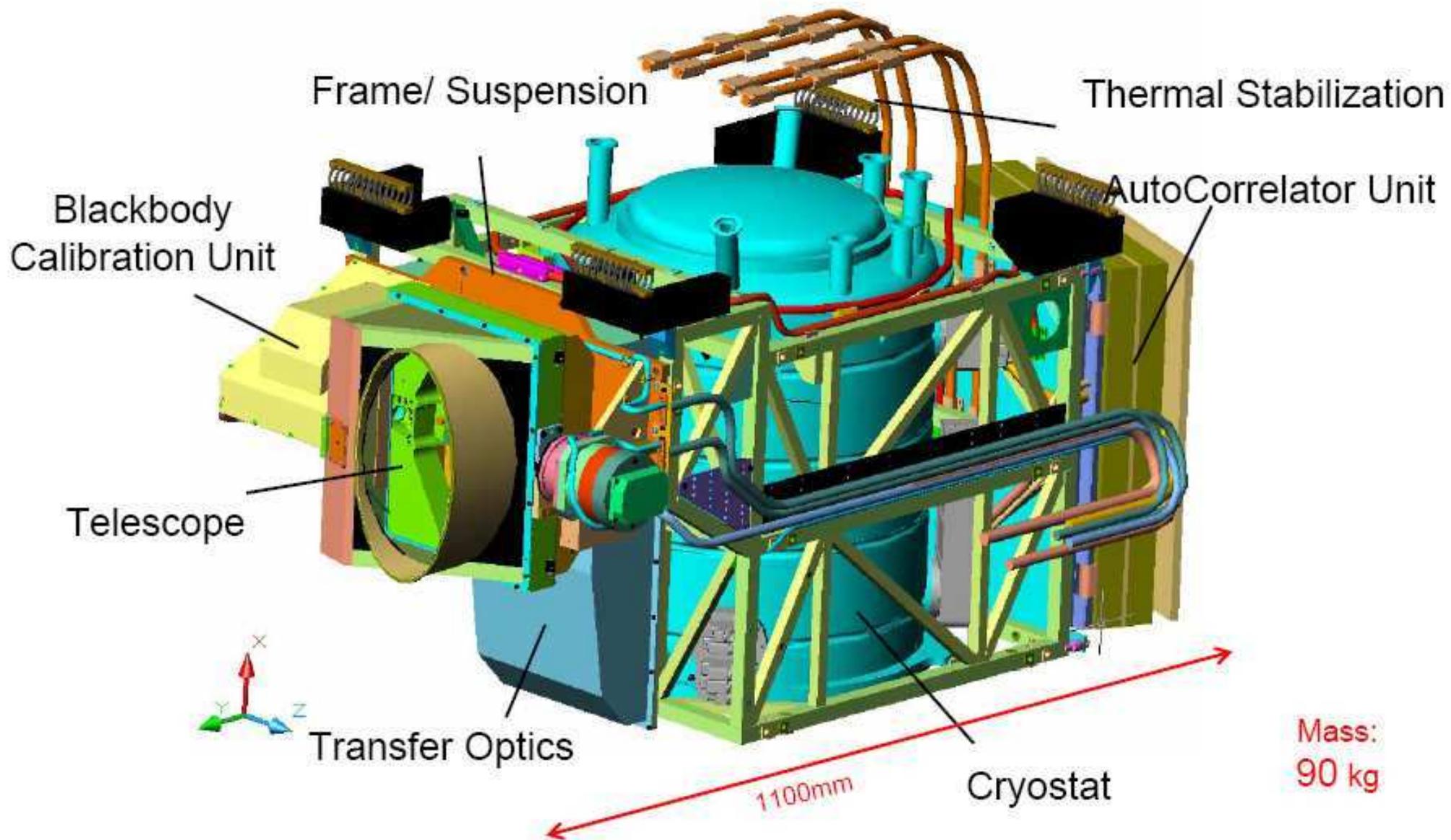
# TELIS



- Acronym: **TE**rahertz **LI**mb **S**ounder
- Высотный аэростат; совместно с MIPAS interferometer, IMK Karlsruhe
- Три независимых криогенных гетеродинных приемника:
  - 500 GHz by RAL
  - **500-650 GHz by SRON-IREE**
  - 1.8 THz by DLR (PI)
- Первый испытательный полет намечен на апрель 2006 г.



# TELIS - макет инструмента

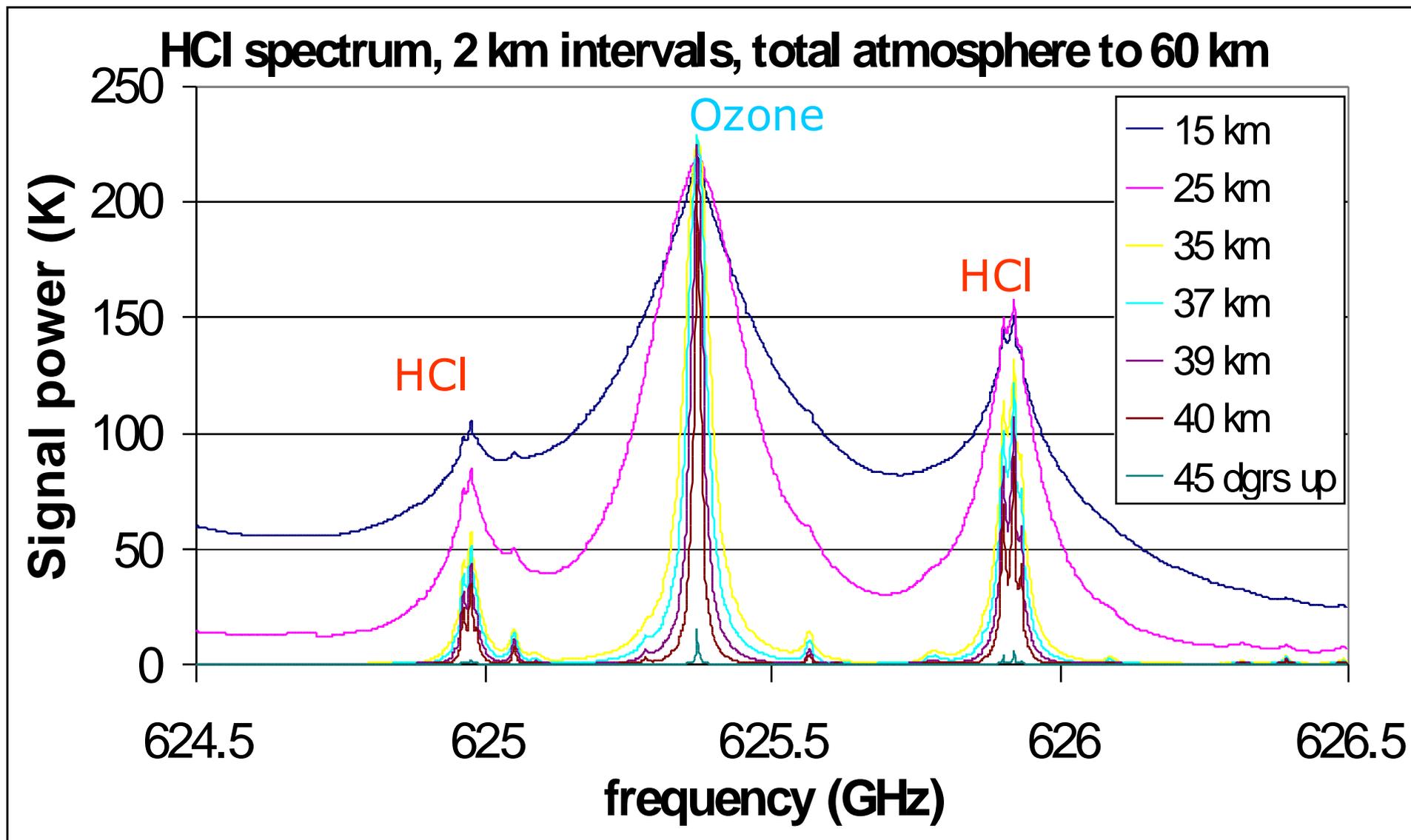




## Задачи проекта СИП-TELIS

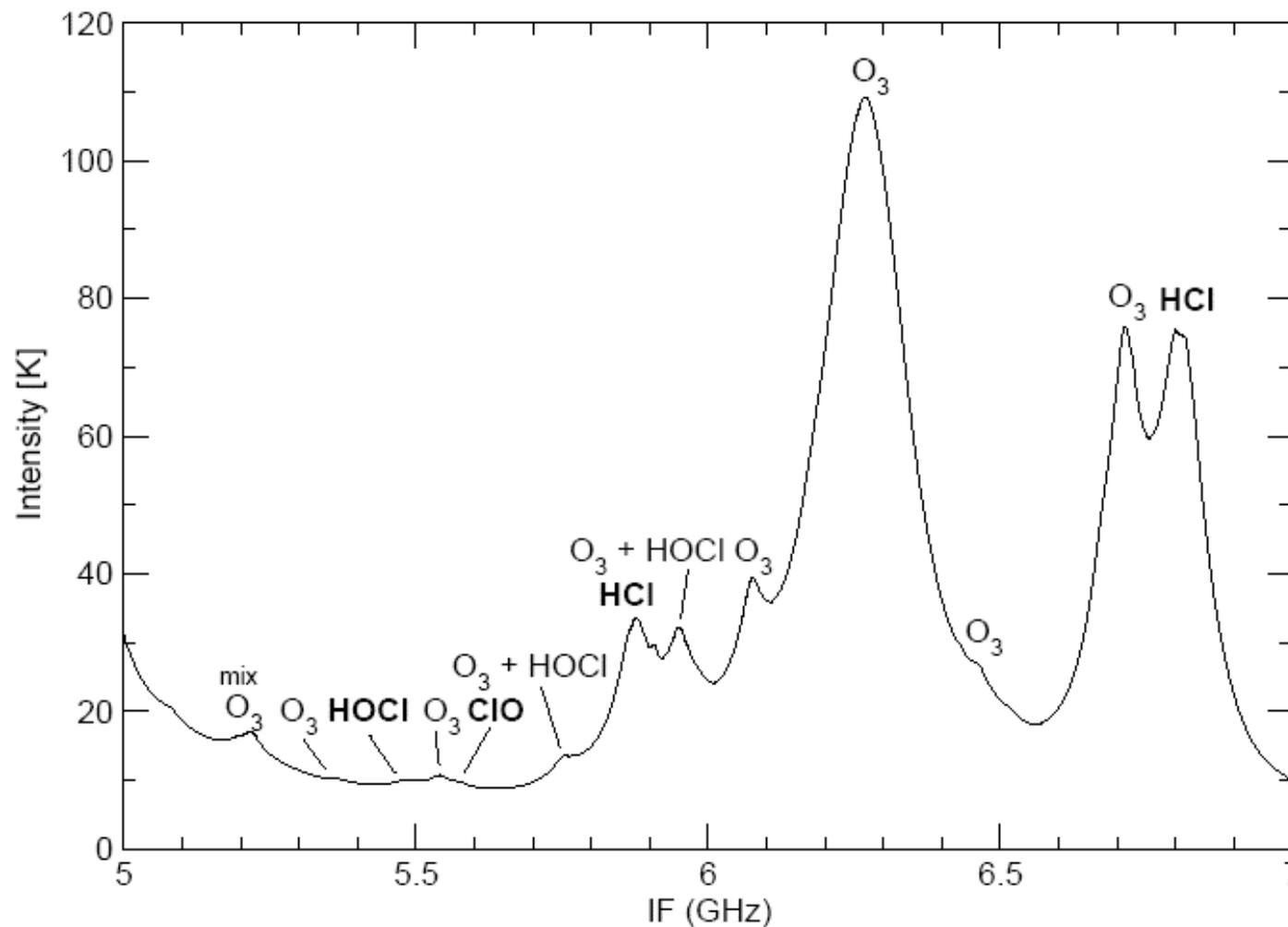
- Измерение множества линий для атмосферных исследований (химия, транспорт, климат) :  
ClO, BrO, O<sub>3</sub>, HCl, HOCl, H<sub>2</sub>O и 3 ее изотопа,  
NO<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O, HNO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>Cl, and HCN
- Испытательный полигон для проверки принципиально новых приборов следующего поколения.
- Тестирование новых методик и апробация оборудования для будущих космических программ.  
Serve as validation tool for future satellite missions
- Первый (тестовый) полет: апрель 2007

# Расчетные спектры Озона и HCl на 625 ГГц



# Расчетный спектр атмосферы (DSB): 619 GHz

Orbit = 40 km / tangent = 27 km / FFO width = 9 MHz

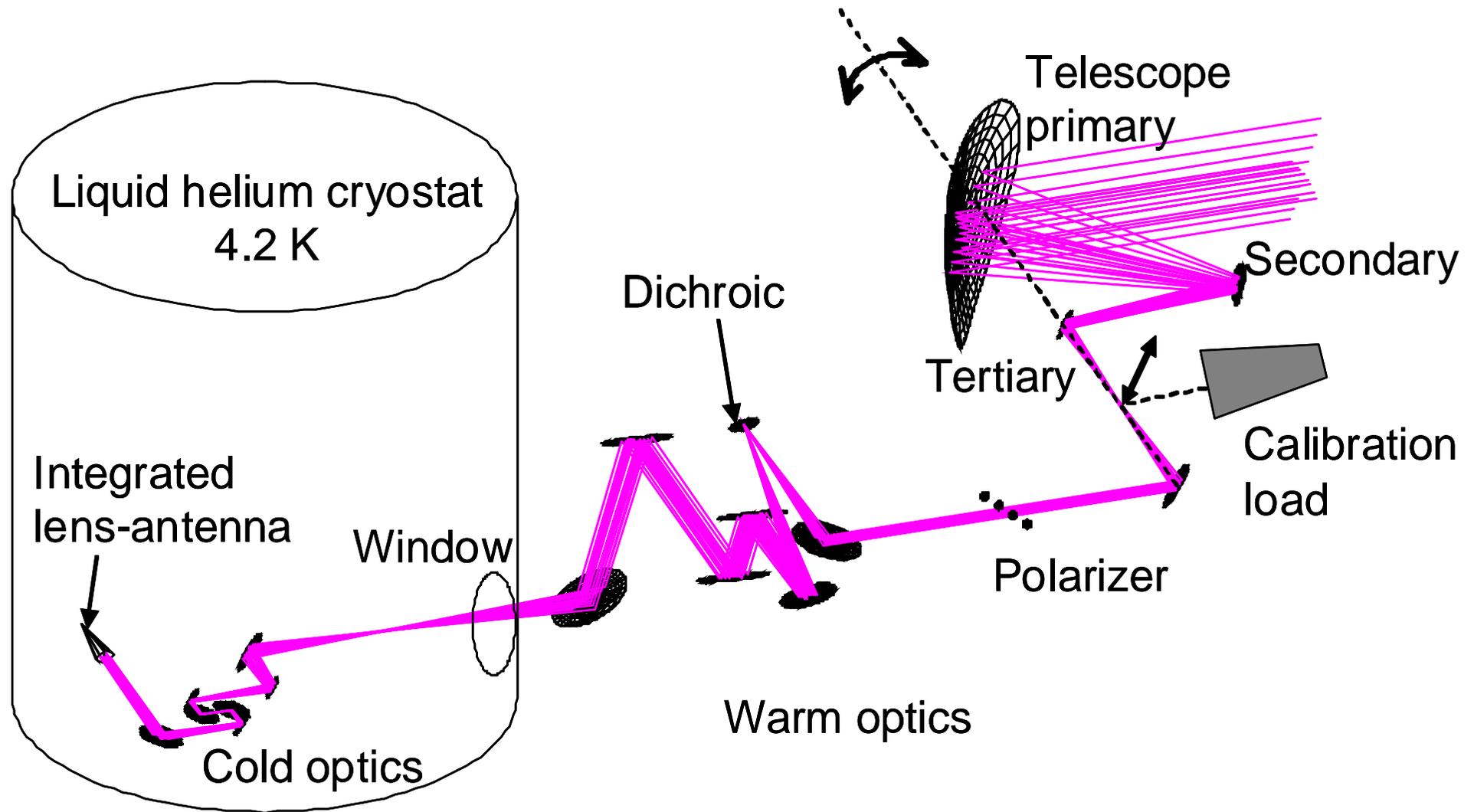




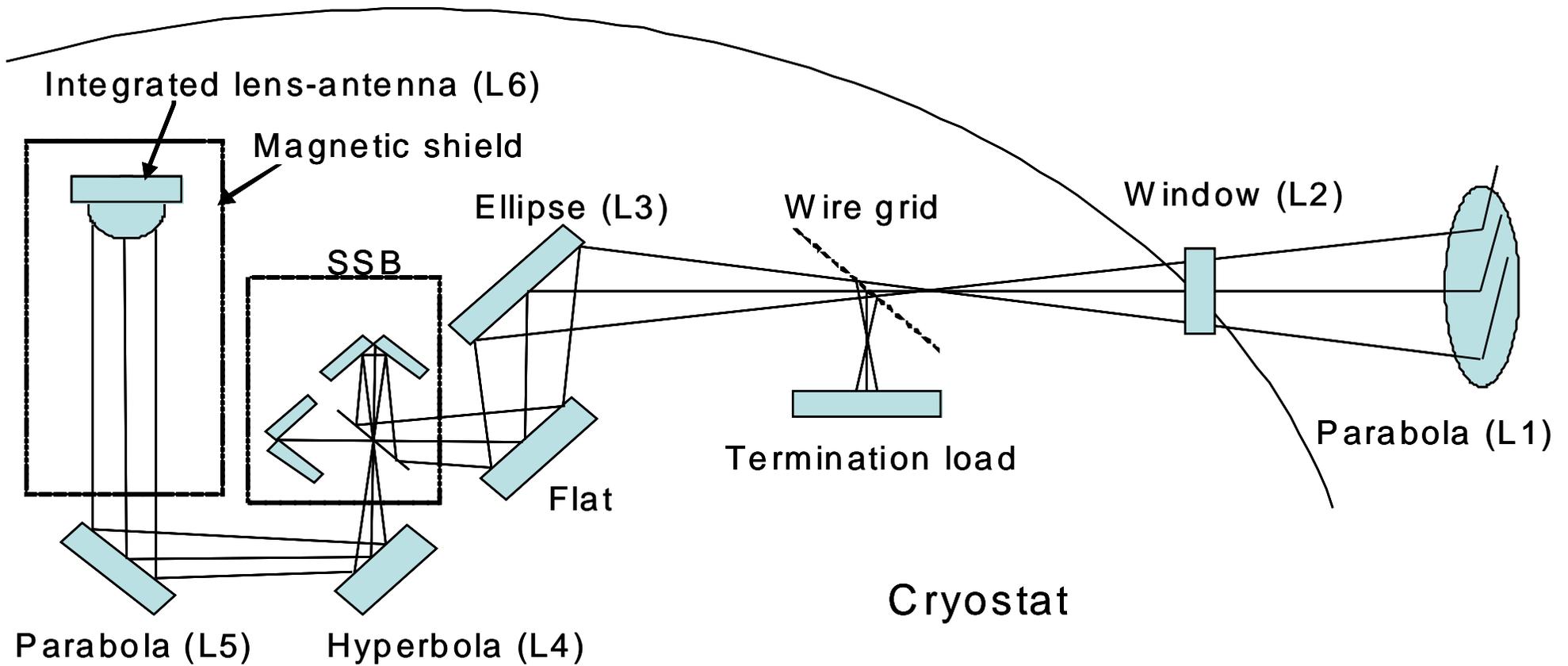
# Параметры интегрального спектрометра для проекта TELIS

<b>##</b>	<b>Описание</b>	<b>Ожидаемые параметры</b>
<b>1</b>	<b>Входной диапазон частот,</b>	<b>500 - 650</b>
<b>2</b>	<b>Минимальная шумовая температура в двухполосном режиме (DSB), К</b>	<b>250</b>
<b>3</b>	<b>Диапазон промежуточных частот, ГГц</b>	<b>4 - 8 (5 - 7)</b>
<b>4</b>	<b>Спектральное разрешение (ширина спектрального канала), МГц</b>	<b>&lt; 1 ( 2 )</b>
<b>5</b>	<b>Шаг гетеродина по частоте, МГц</b>	<b>&lt; 300</b>
<b>6</b>	<b>Выделяемая мощность на ступени 4.2 К (включая усилители ПЧ), мВт</b>	<b>100</b>
<b>7</b>	<b>Рабочая температура, К</b>	<b>&lt; 4.5</b>

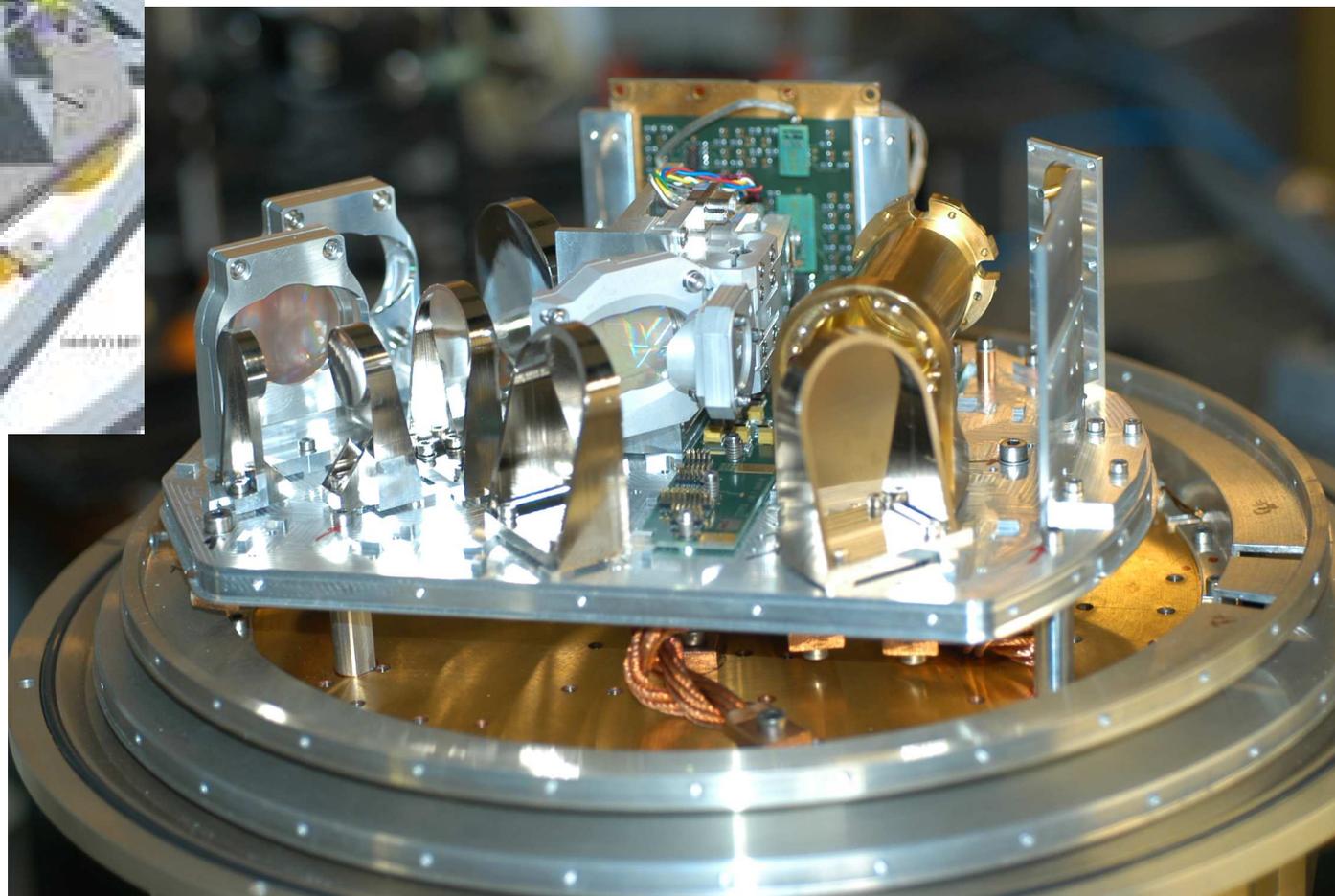
# Оптическая схема канала 500-650 ГГц (СИП)



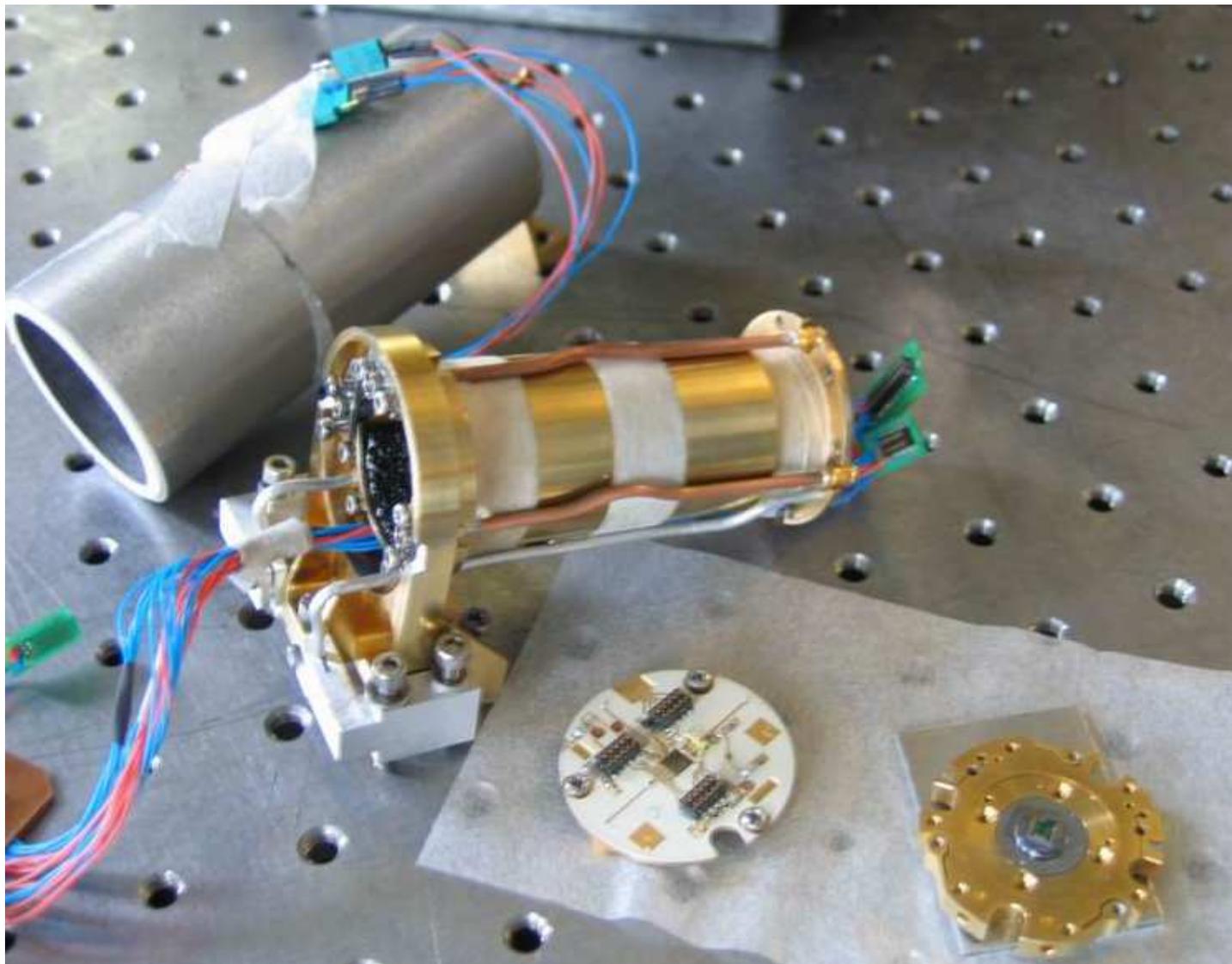
# Оптическая схема «холодной» части СИП



# Макет и фото «холодной» части СИП



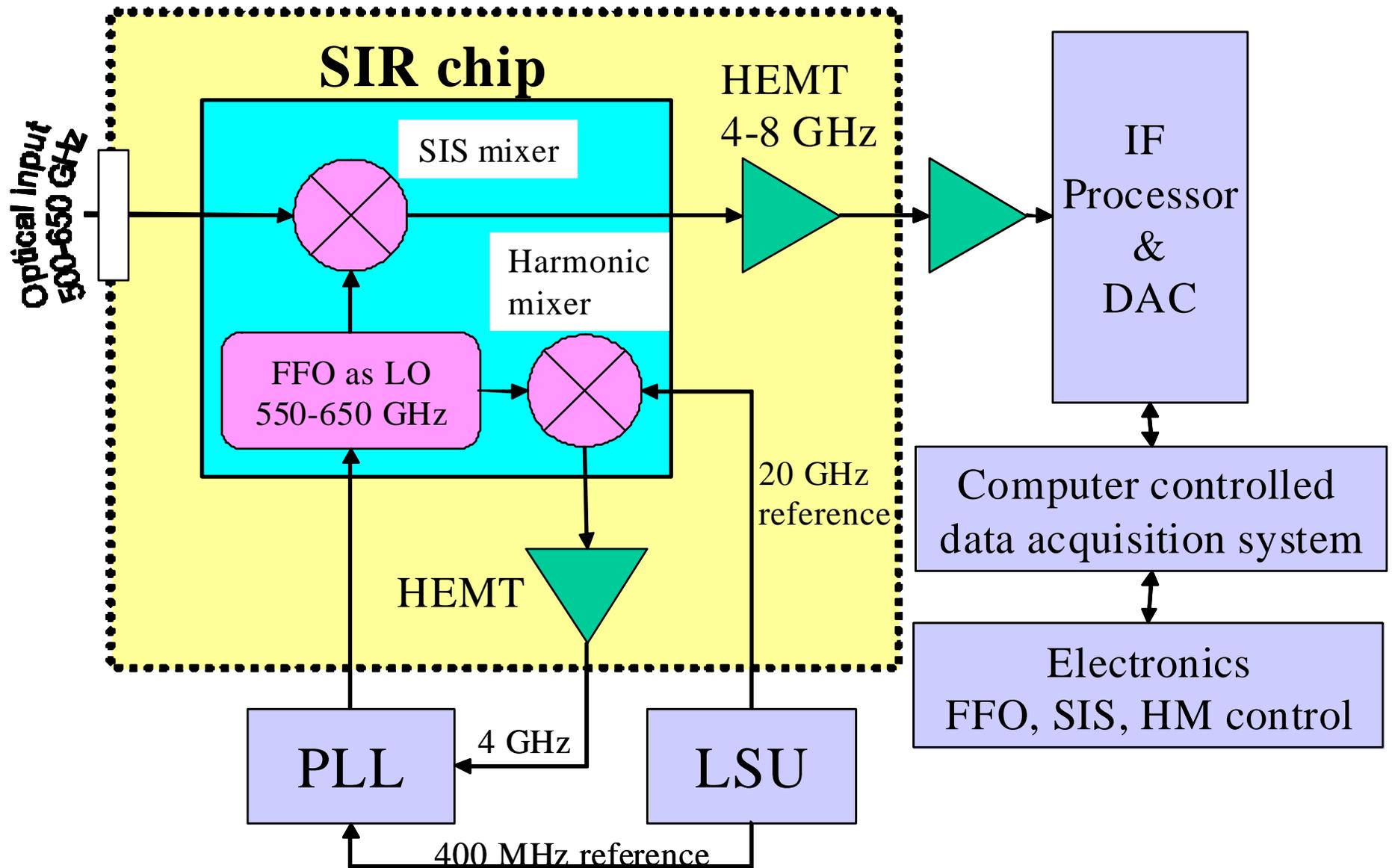
# Смесительный блок СИП с экранами





# Схема СИП с возможностью ФАПЧ

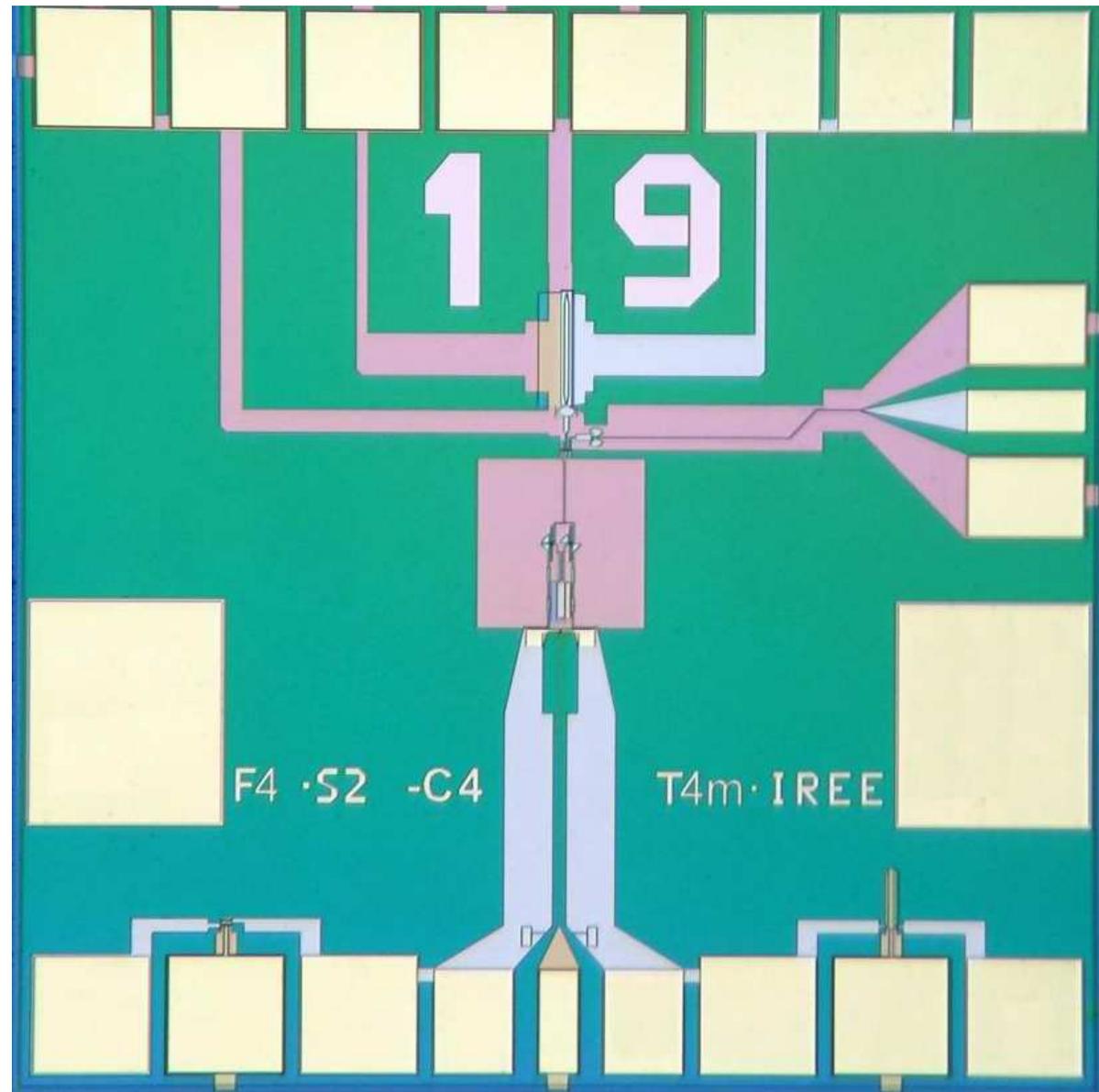
4 K dewar





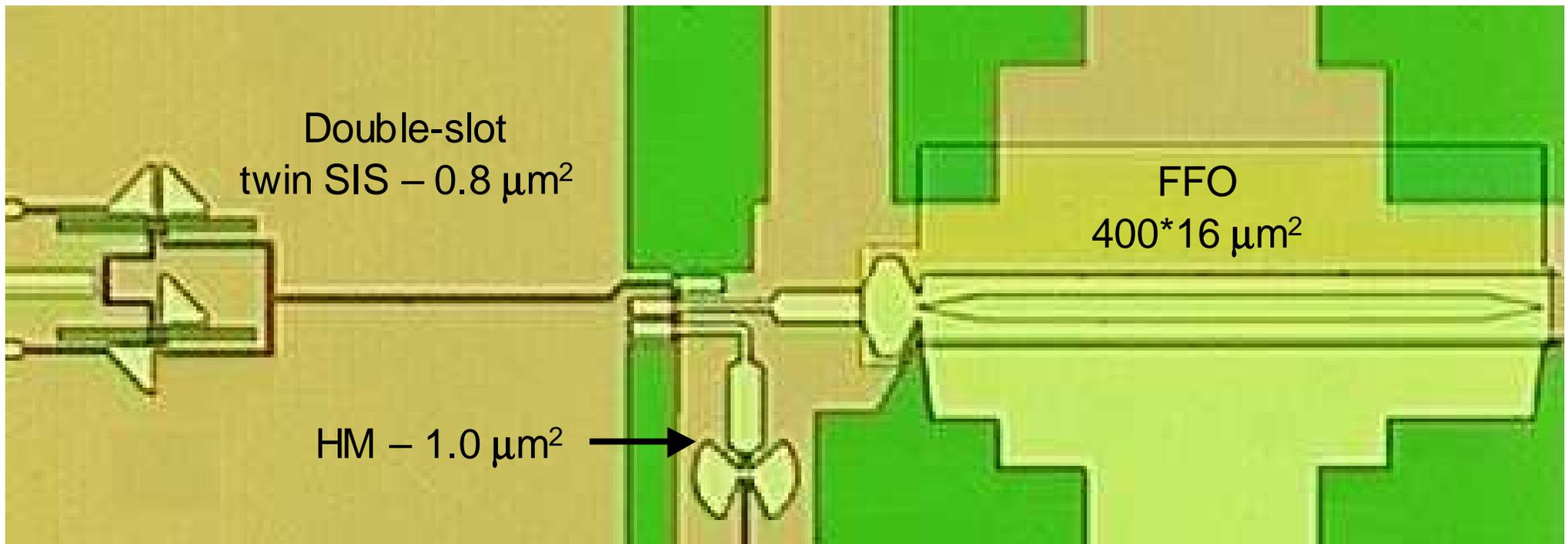
# Фото микросхемы СИП для TELIS

Кремний (Si);  
4 x 4 x 0.5 mm<sup>3</sup>  
Nb-AlOx-Nb;  
Nb-AlN-NbN;





# Микросхема интегрального приемника для TELIS



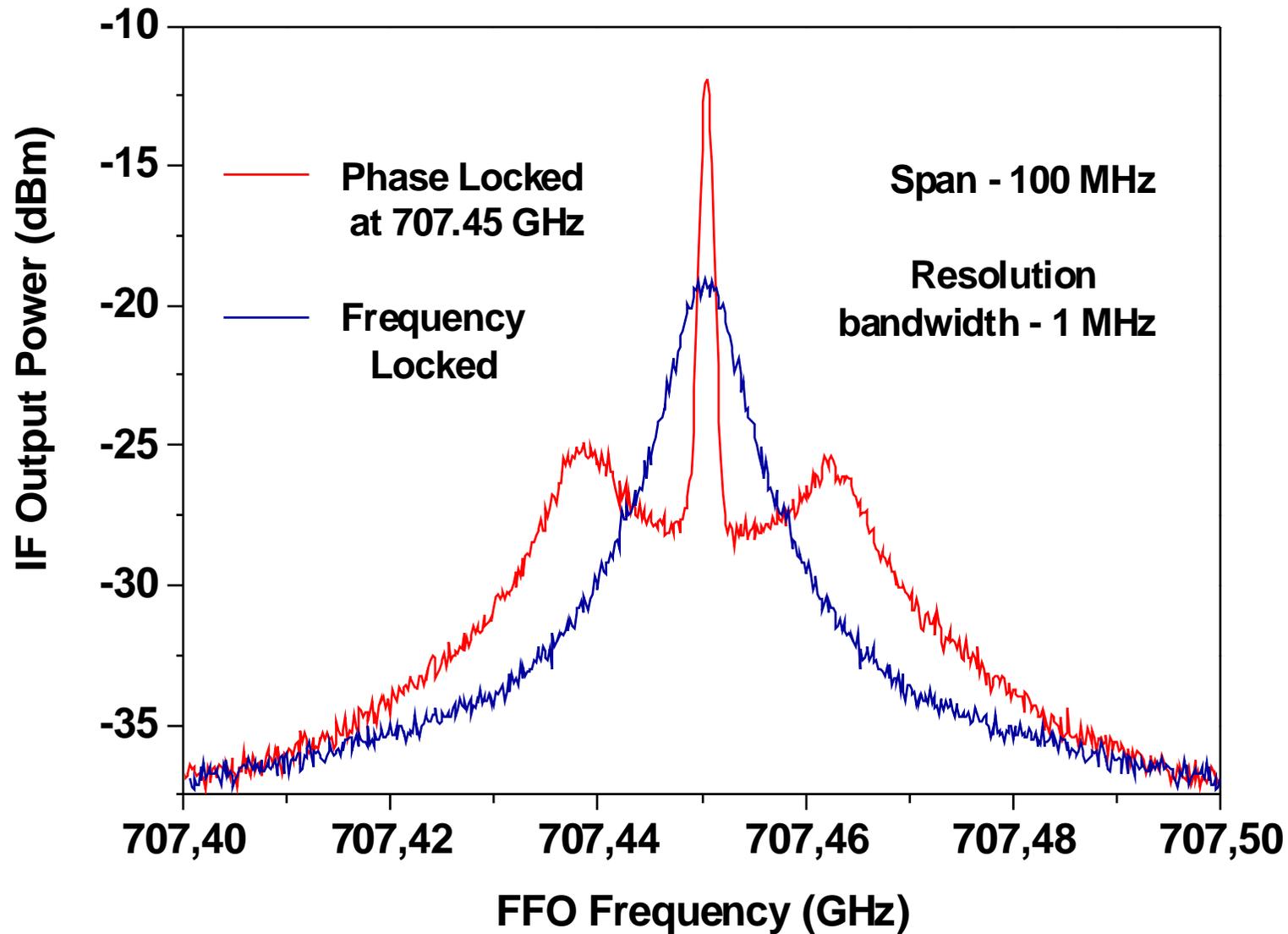
**Nb-AlO<sub>x</sub>-Nb; Nb-AlN-NbN;  $J_c = 5 - 8 \text{ kA/cm}^2$**

**Optionally: SIS –  $J_c = 8 \text{ kA/cm}^2$ ; FFO + HM =  $4 \text{ kA/cm}^2$**



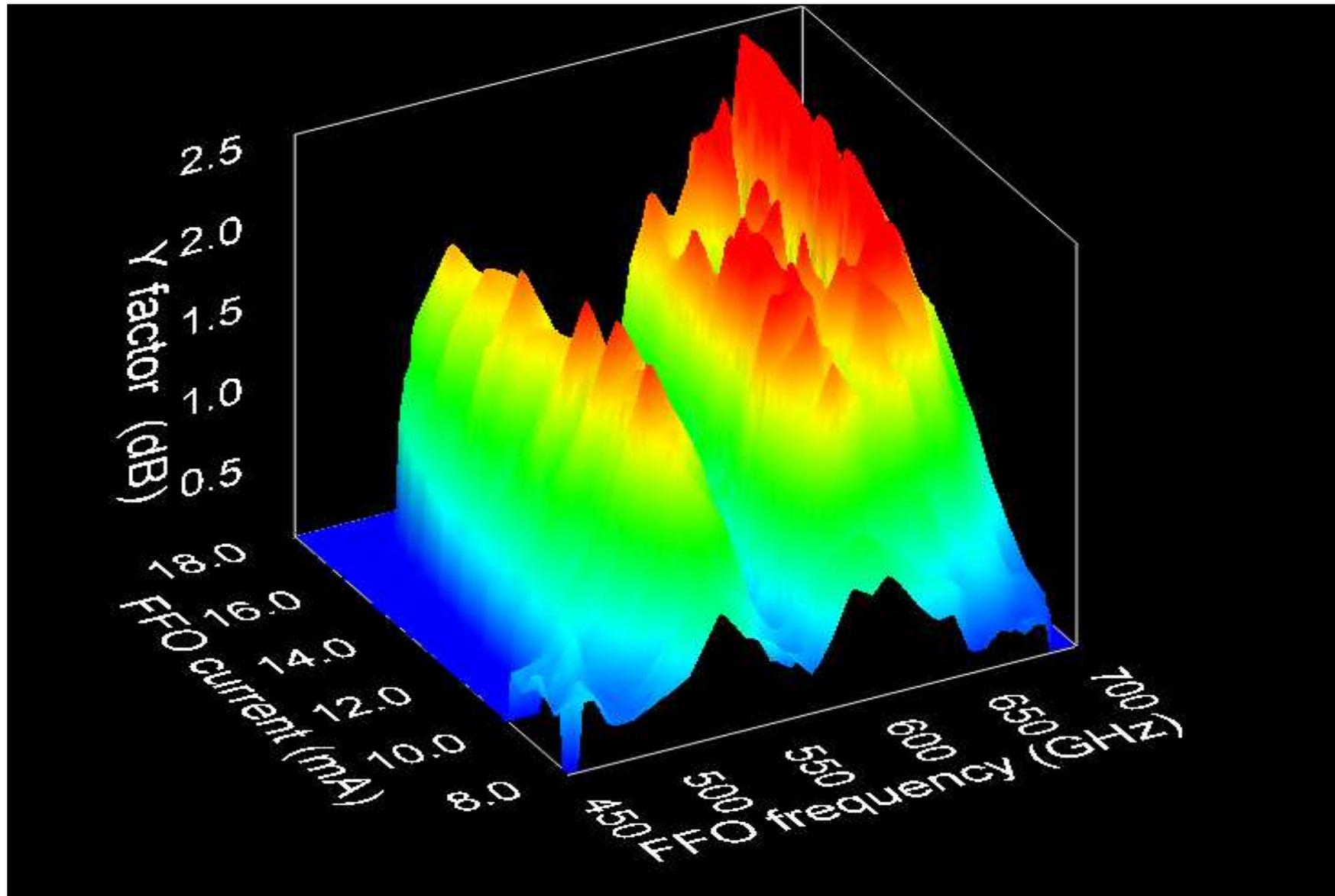
# Спектр ФФО в режиме ФАПЧ

(частота 707 ГГц; LW = 6.3 МГц; SR = 50 %)



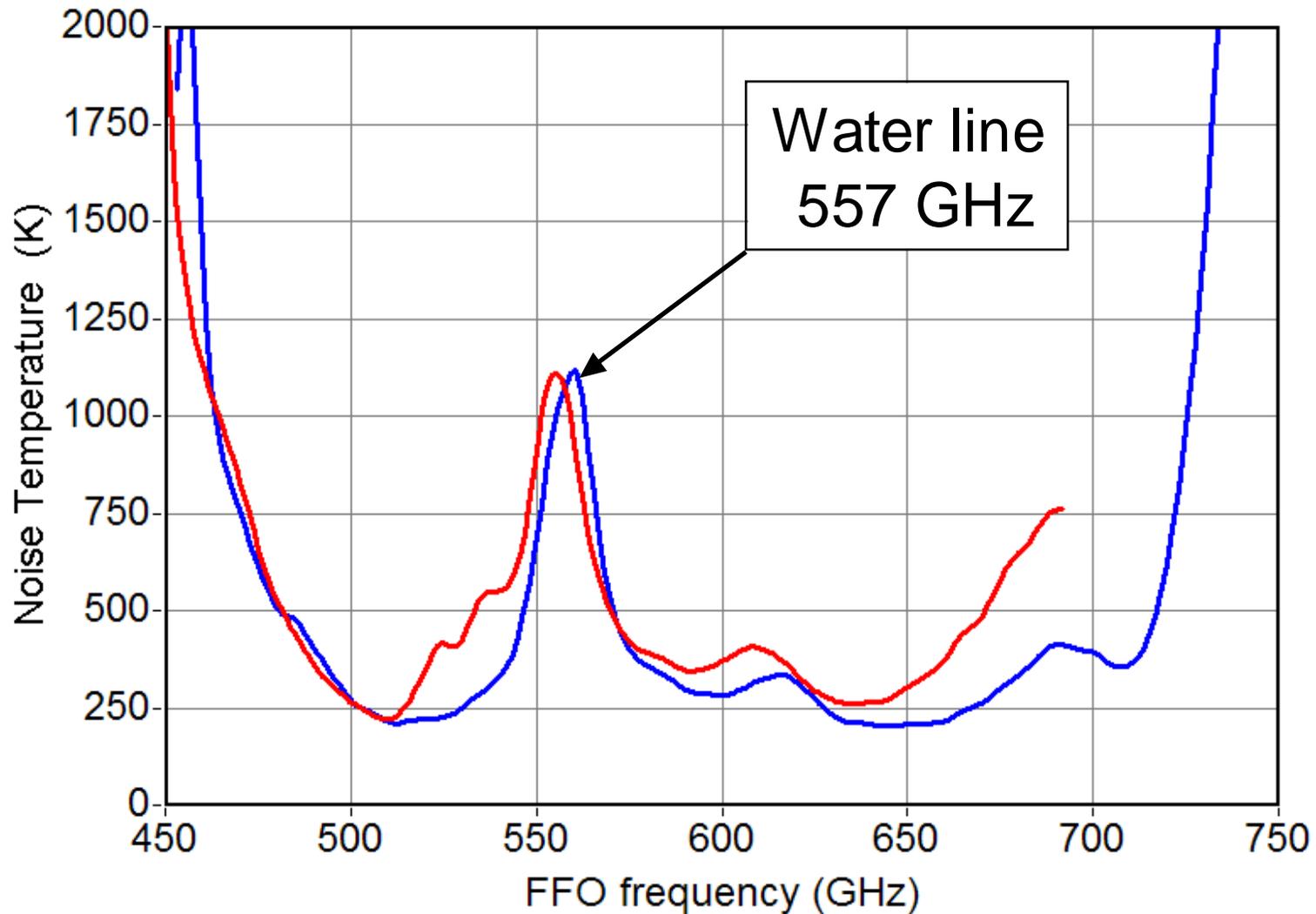


# $\Upsilon$ -фактор СИП (300/78 К), $T = 2.1$ К, $V_{SIS} = 2.2$ мВ, $IF = 4.3$ GHz

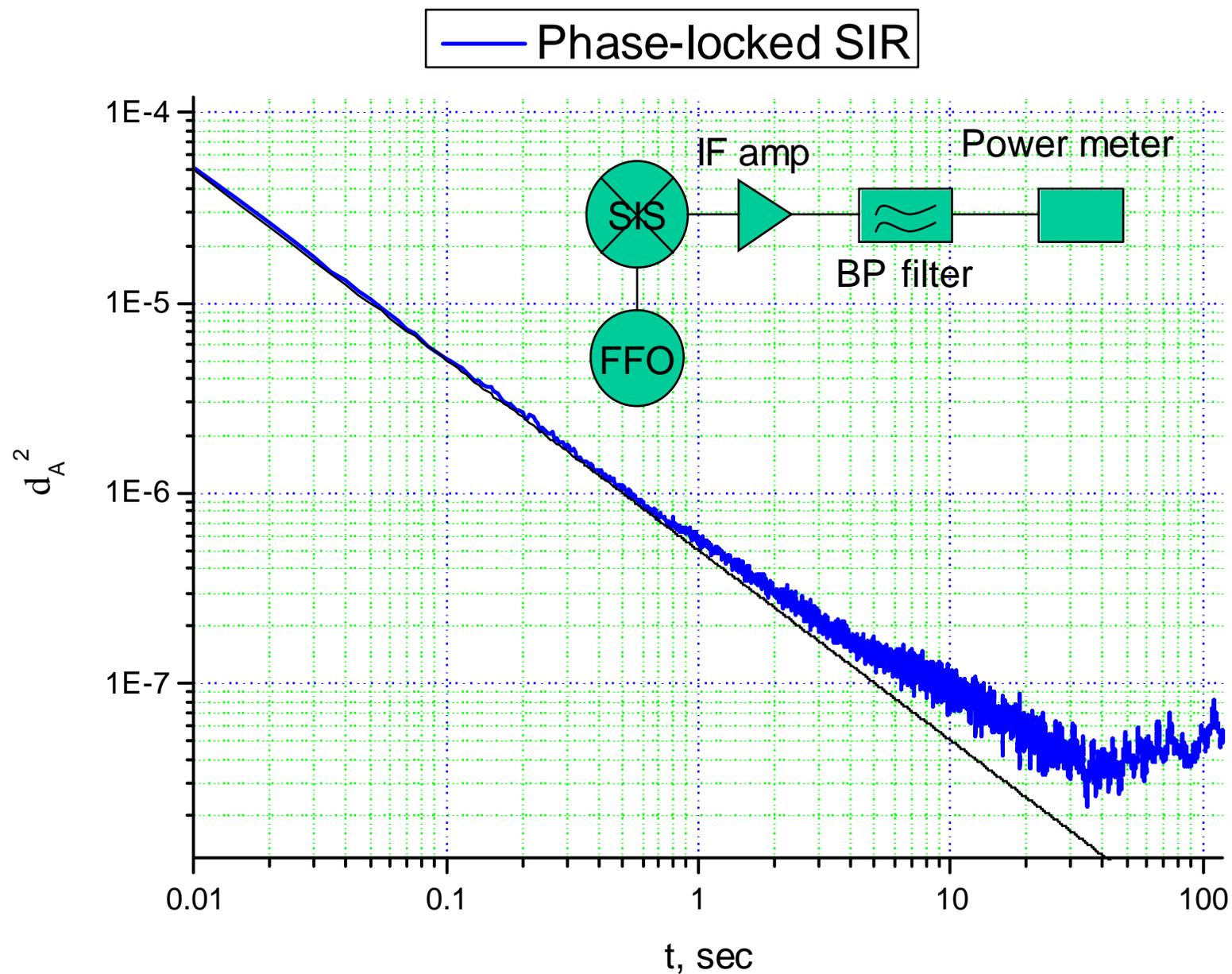


# Шумовая температура СИП (DSB) :

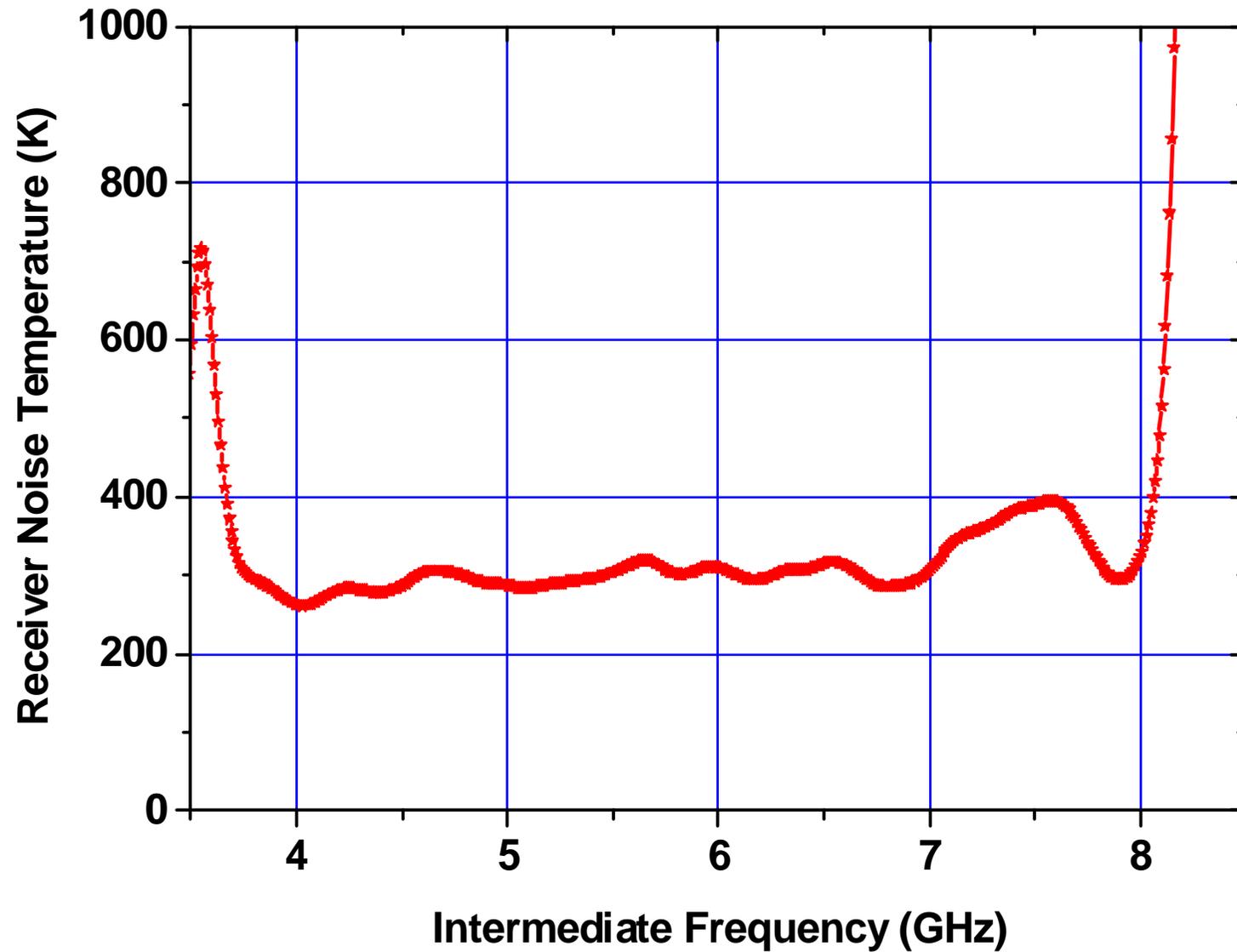
**Red - T bath = 4.2 K; Blue – T bath = 2 K**



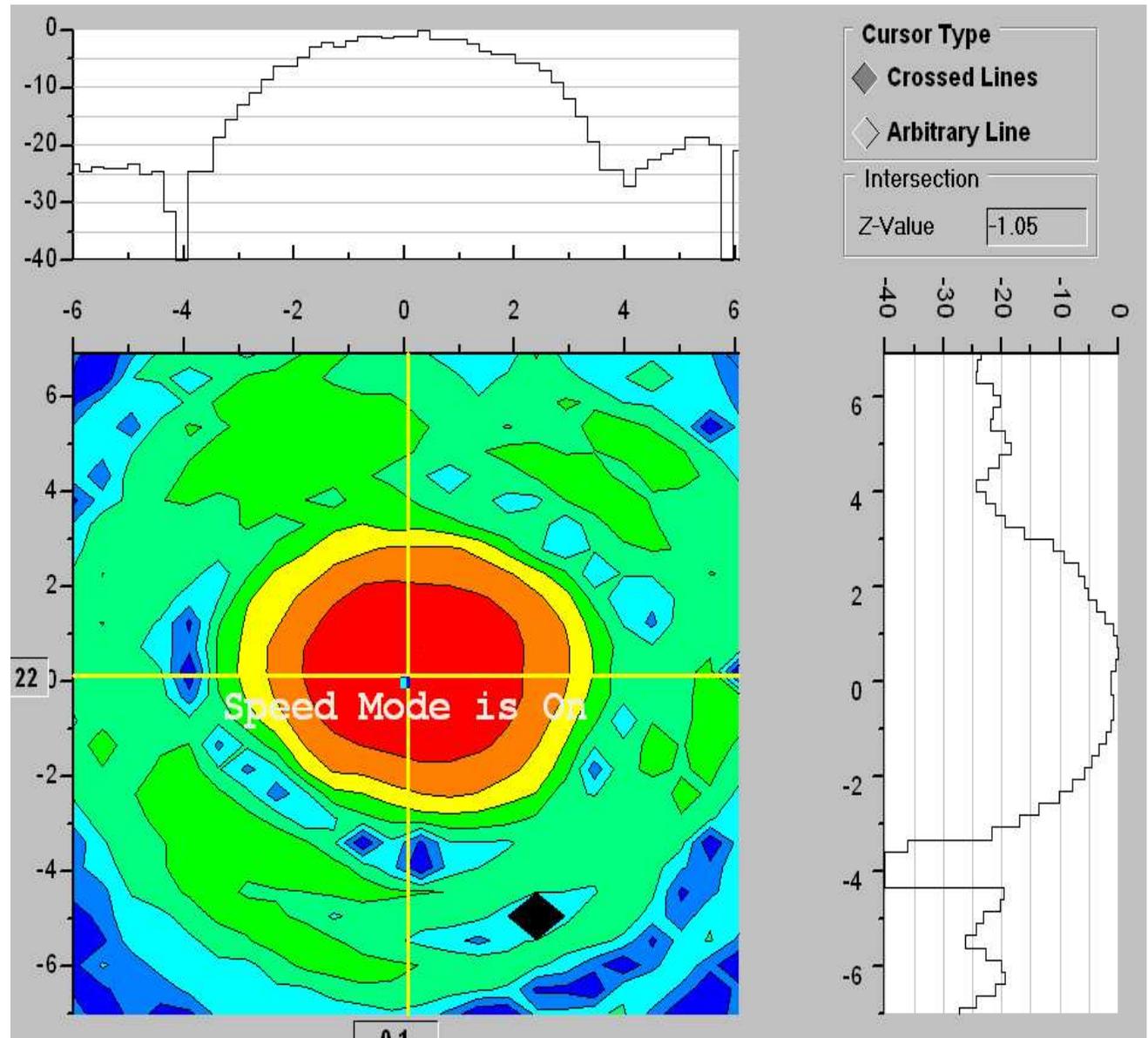
# Стабильность СИП: Allan variance test



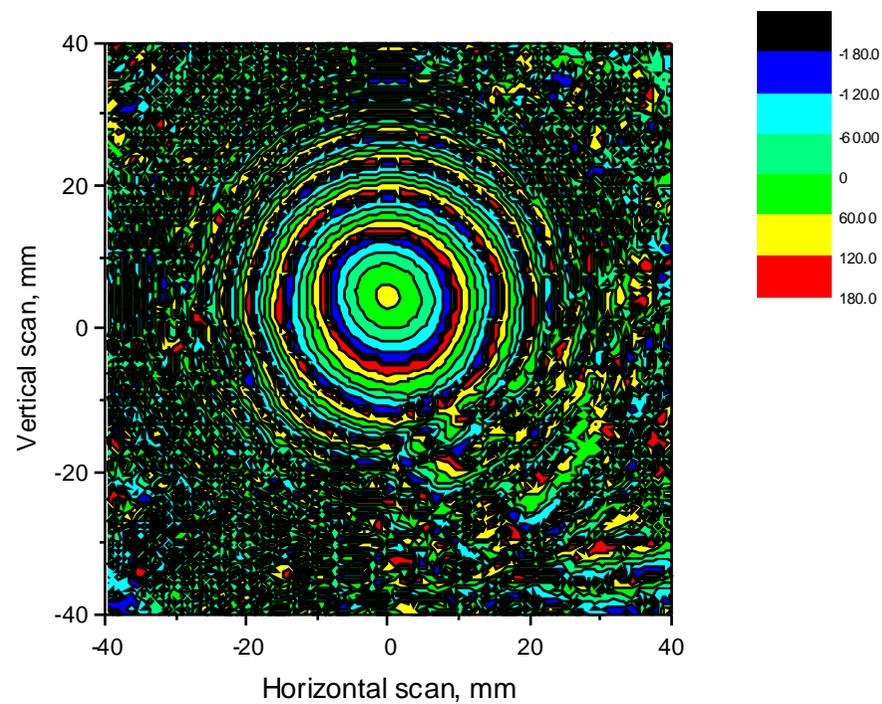
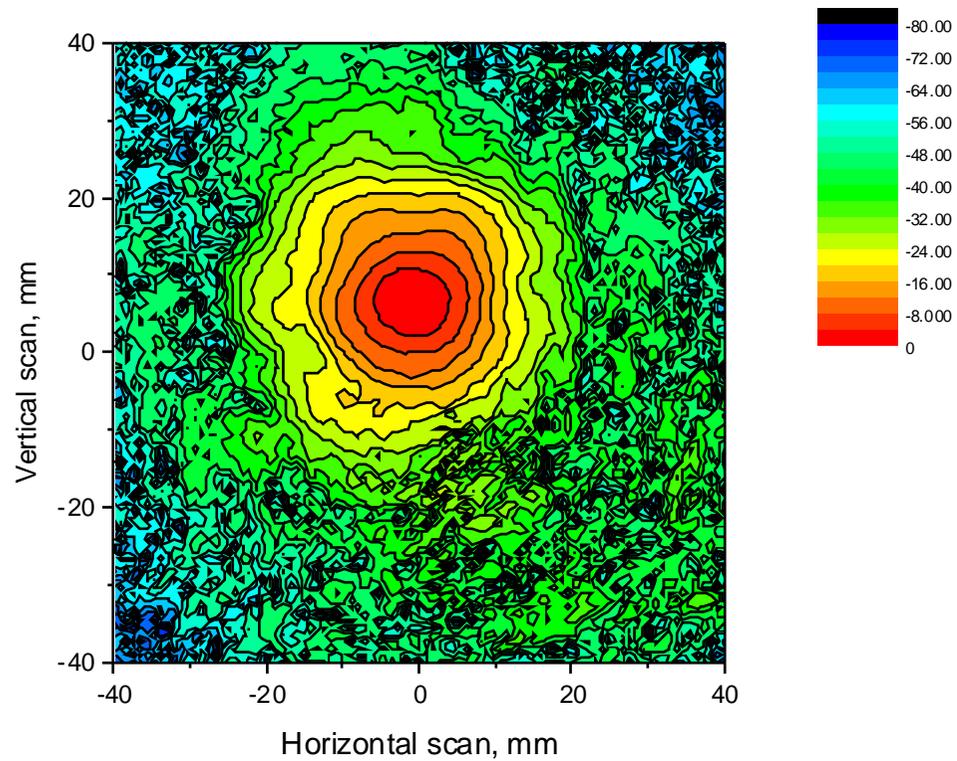
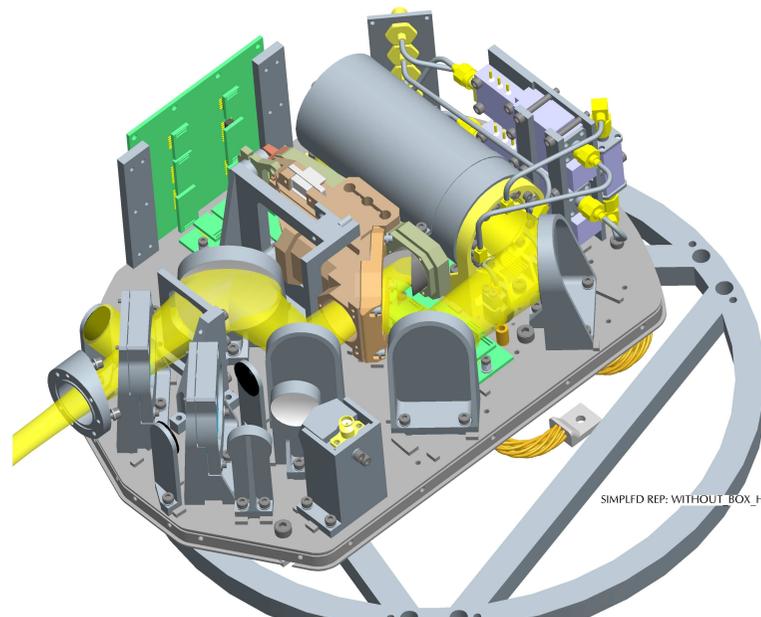
# Характеристика тракта ПЧ СИП



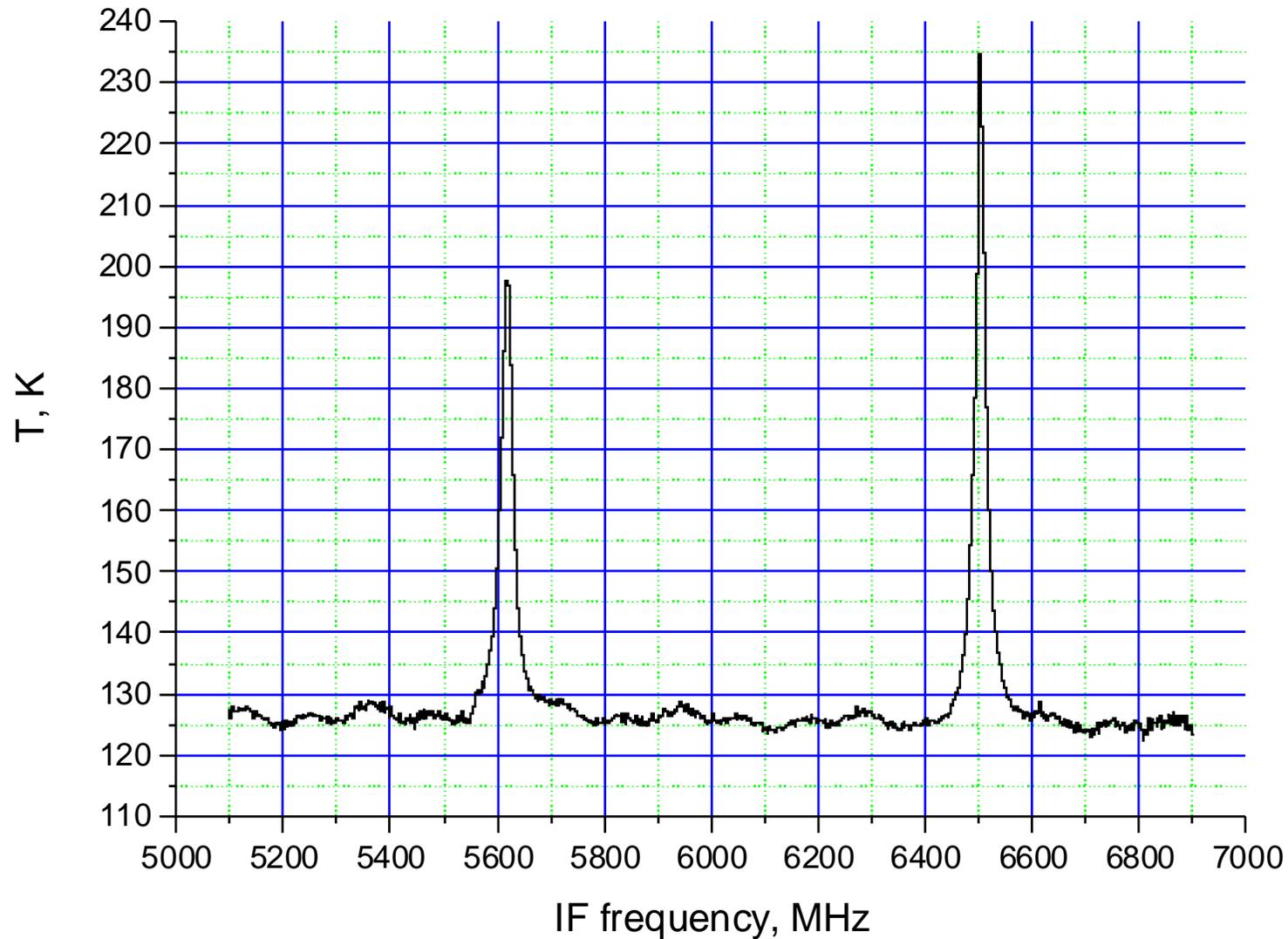
# Диаграмма направленности (антенна-линза) СИП в режиме ФАПЧ на частоте 625 ГГц



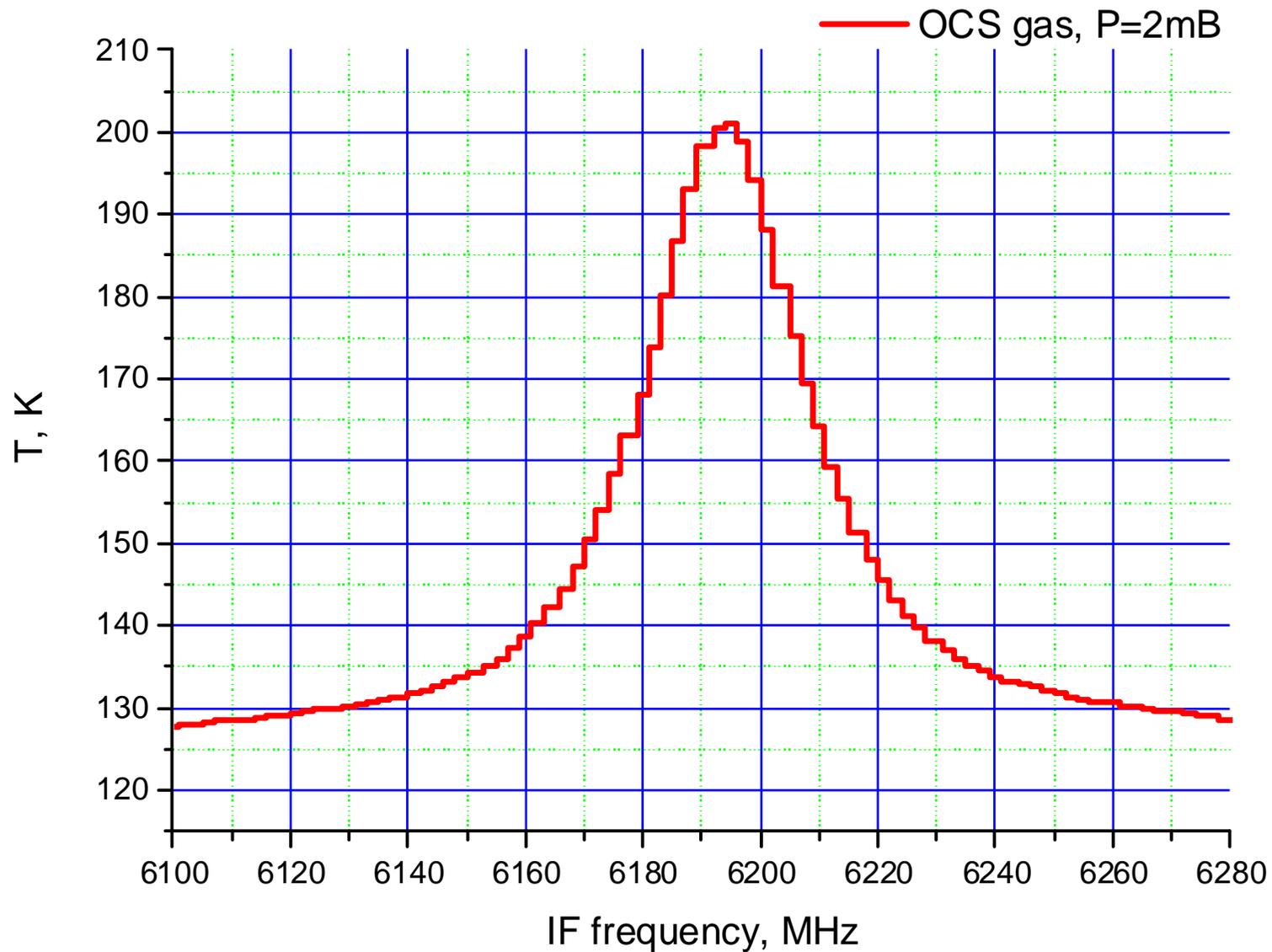
# Векторная диаграмма направленности приемника



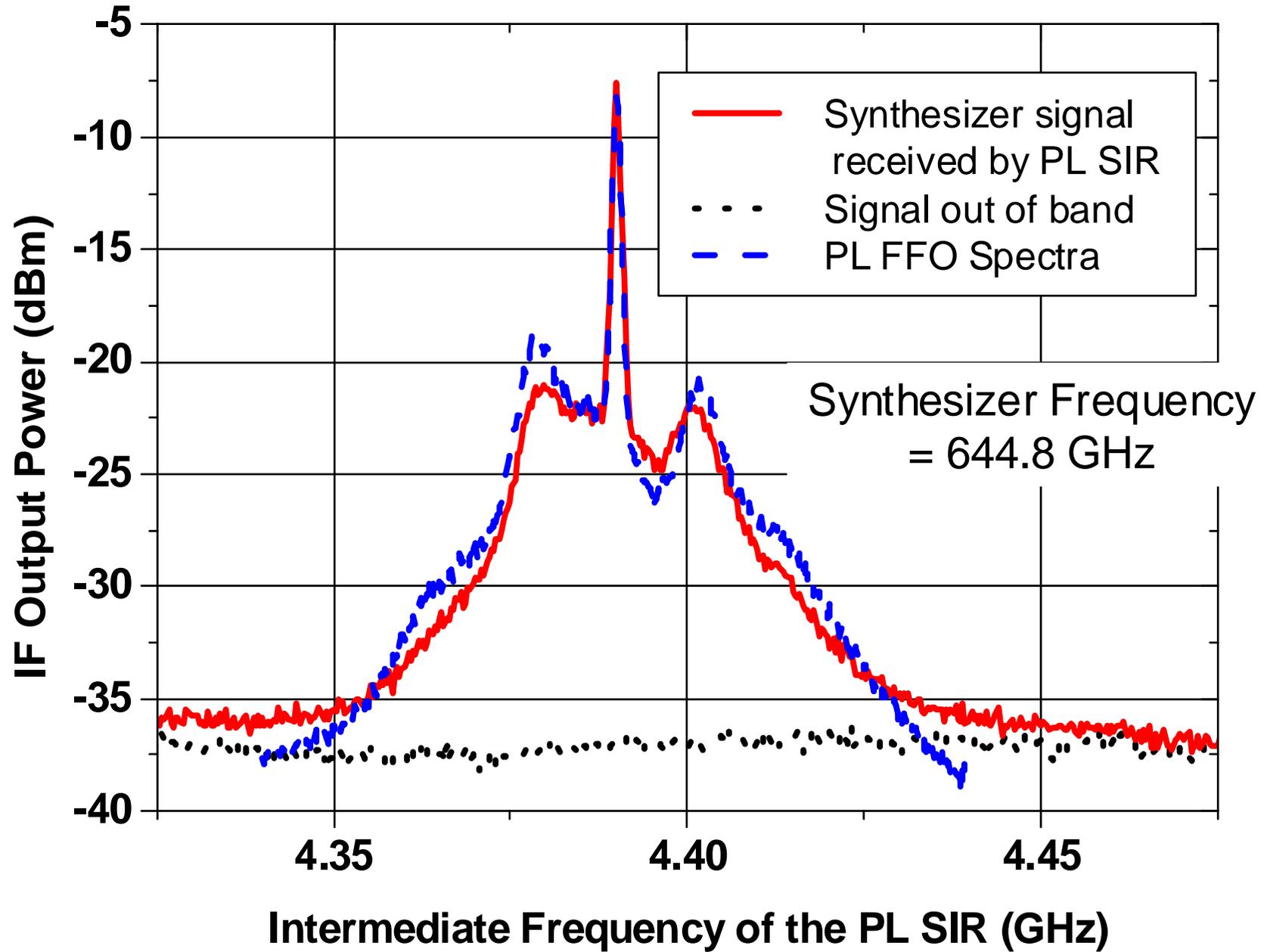
# Спектры 2-ух линий OCS (давление 1.2 mBar) после деконволюции; частота ФФО = 625.24 ГГц



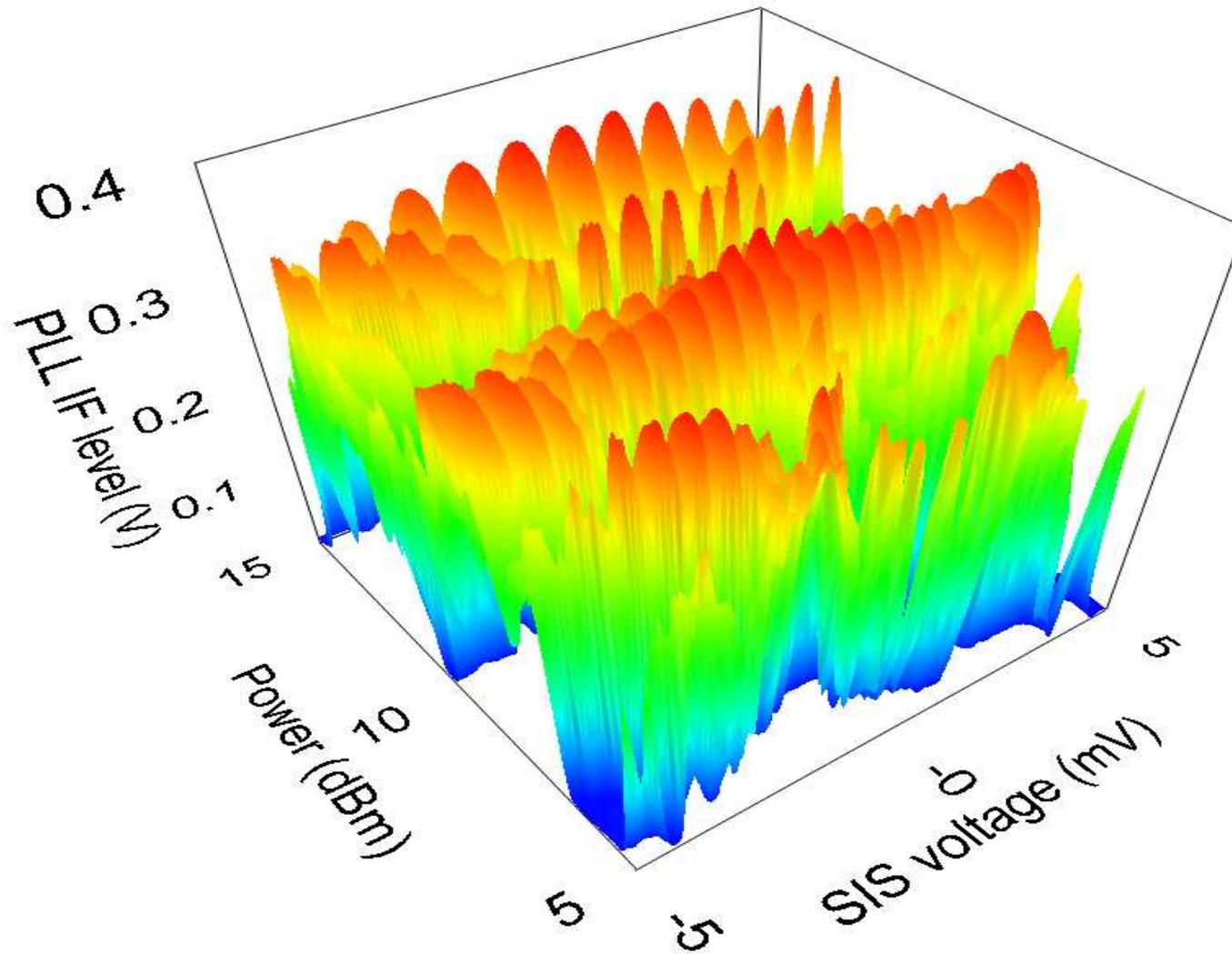
# Измерение спектра OCS в газовой ячейке; разрешение определяется автокоррелятором



# СИП в режиме ФАПЧ; разрешение < 1 МГц



# Оптимизация работы гармонического смесителя в СИП в режиме ФАПЧ (3D)



# Заключение

- Предложена и апробирована концепция интегрального приемника субмм волн со сверхпроводниковым генератором гетеродина, частота которого стабилизирована с помощью системы ФАПЧ.
- Разработана технология изготовления интегральных сверхпроводниковых СВЧ микросхем на основе туннельных переходов **Nb-AlO<sub>x</sub>-Nb** и **Nb-AlN-NbN**
- Создана и испытана микросхема интегрального приемника, удовлетворяющая всем требованиям проекта **TELIS**.
- Для бортового интегрального приемника реализован частотный диапазон **500 – 650 ГГц**, шумовая температура менее **200 К (DSB)**, полоса ПЧ **5- 7 ГГц**, диаграмма направленности с боковыми лепестками **< - 17 dB**, разрешение лучше **1 МГц**.
- Создана и апробирована концепция дистанционного управления интегральным приемником
- Первый тестовый полет намечен на апрель 2007 г.