

# Миллиметровая и субмиллиметровая астрономия

И.И. Зинченко

Институт прикладной физики РАН

Нижегородский государственный университет  
имени Н.И. Лобачевского

70  $\mu\text{m}$  – blue  
160  $\mu\text{m}$  – green  
250  $\mu\text{m}$  – red

# Содержание

- Научные задачи миллиметровой ( $\lambda \lesssim 3$  мм) и субмиллиметровой астрономии
- Основные достижения
- Инструменты
- Проблемы и перспективы

# Задачи мм/субмм астрономии

Исследования  
«холодной» Вселенной



- Образование звезд и планет
- Свойства межзвездной среды в галактиках
- Астрохимия, поиск сложных органических соединений
- Магнитные поля в межзвездных облаках
- Объекты Солнечной системы

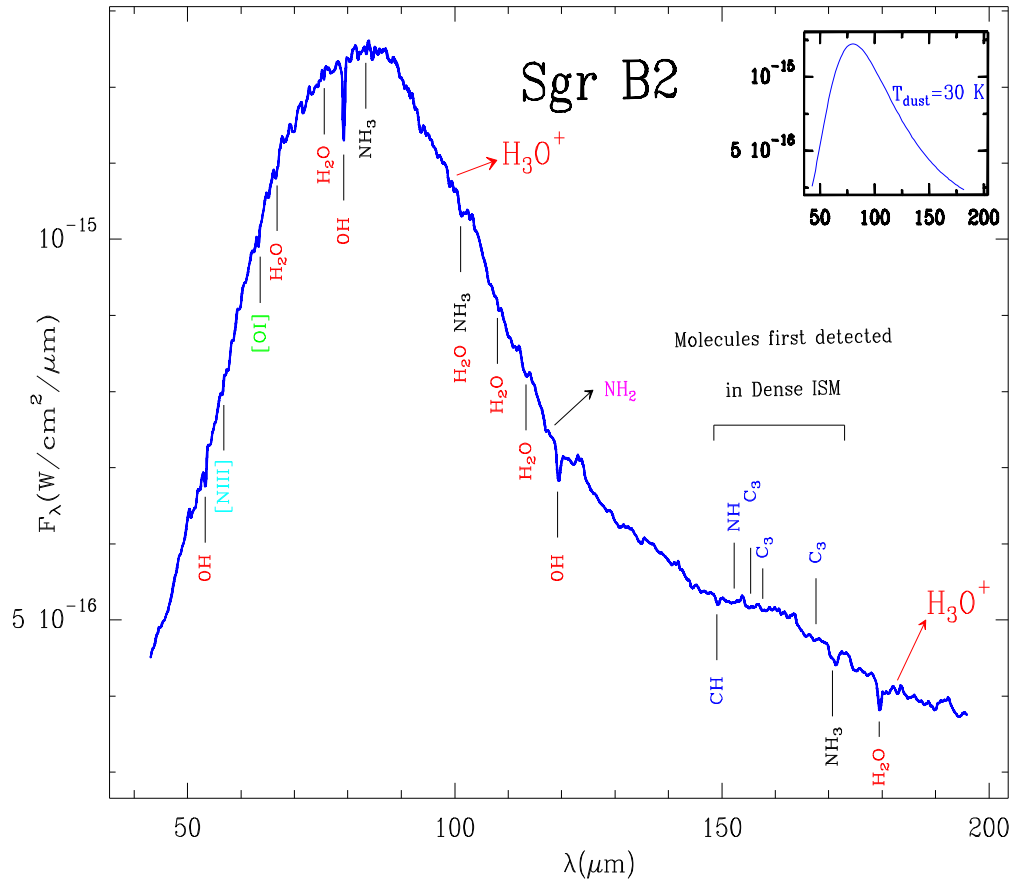


Галактики, скопления галактик и  
КОСМОЛОГИЯ

- Изучение ядер галактик (СМЧД)
- Поляризация (В-мода) и искажения спектра микроволнового фона
- Эффект Сюняева-Зельдовича
- Вариации фундаментальных физических констант

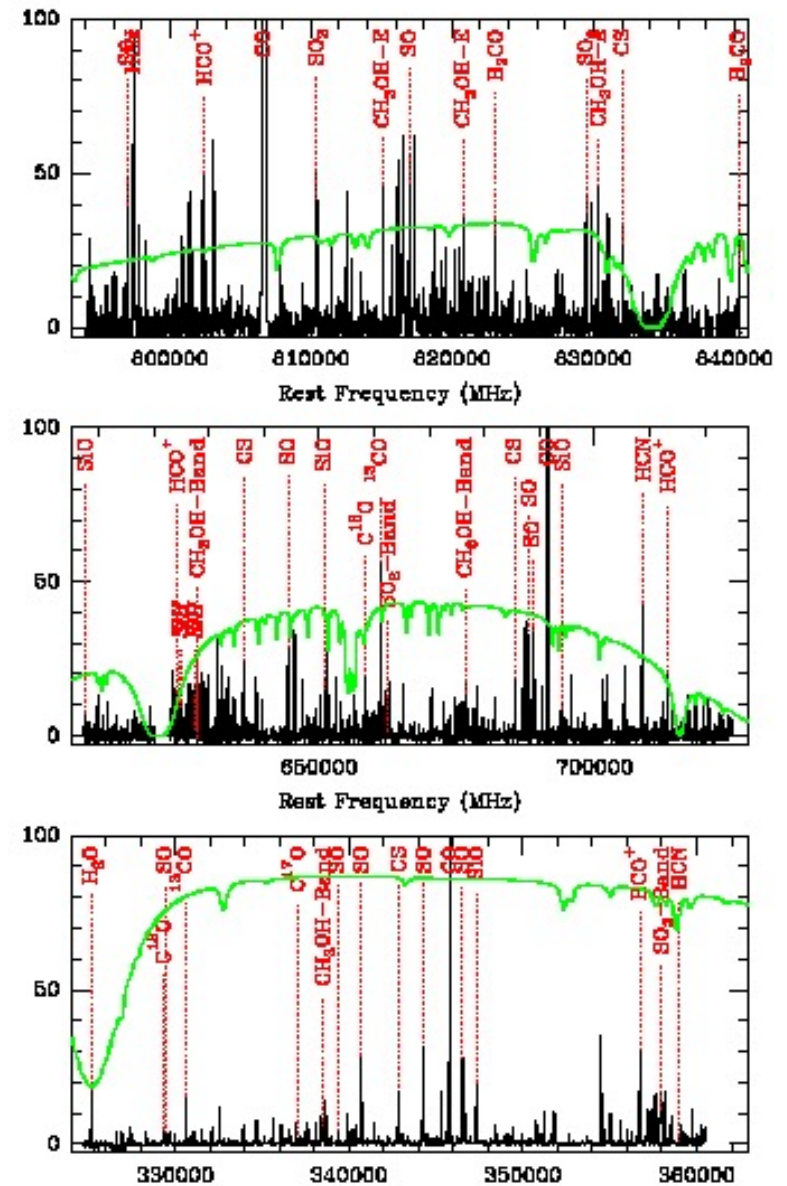


# Спектры межзвездных облаков



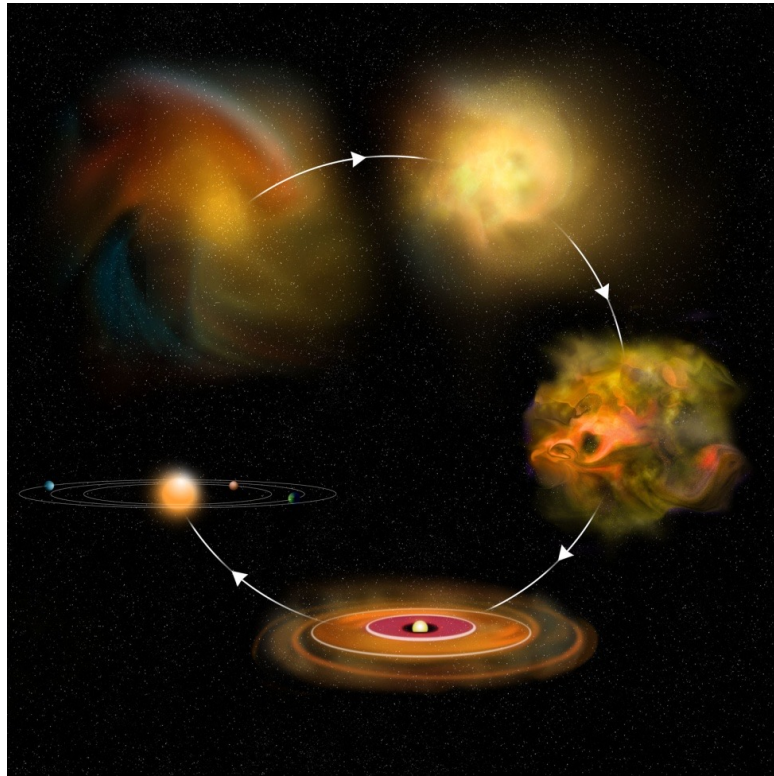
Спектр облака Sgr B2 (Goicoechea & Cernicharo 2001)

В настоящее время в МЗС обнаружено более 200 молекул (не считая изотопологов), в том числе много сложных органических молекул.

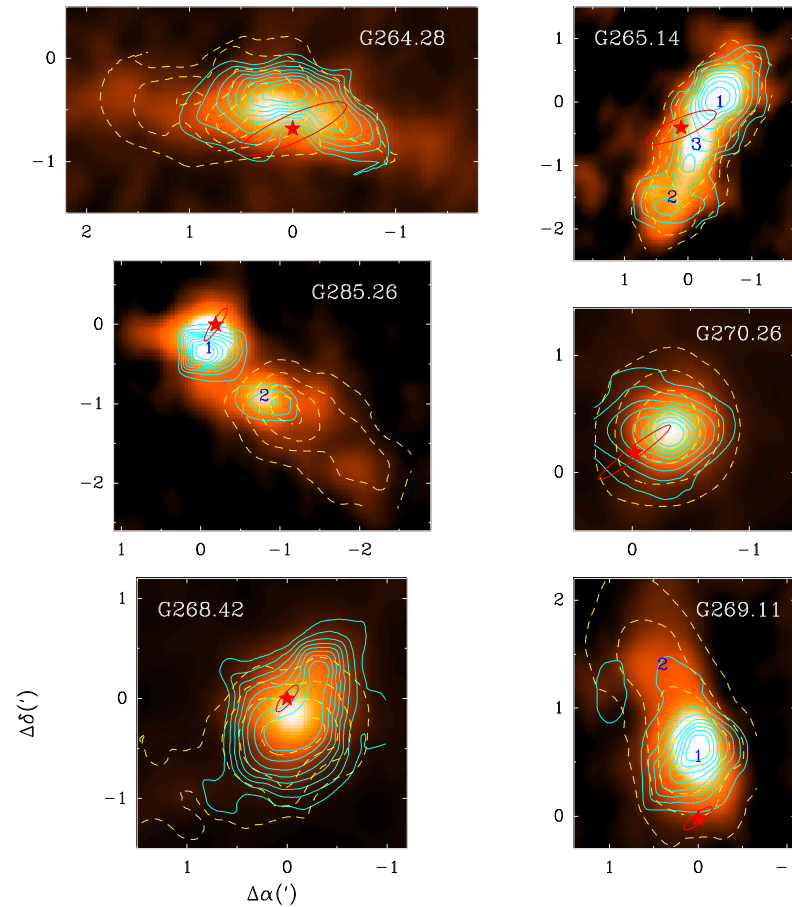


Ground-based Orion KL spectral surveys: 794-840 GHz (Comito et al. 2005), 600-720 GHz (Schilke et al. 2001) and 325-360 GHz (Schilke et al. 1997).

# Исследования звёздообразования

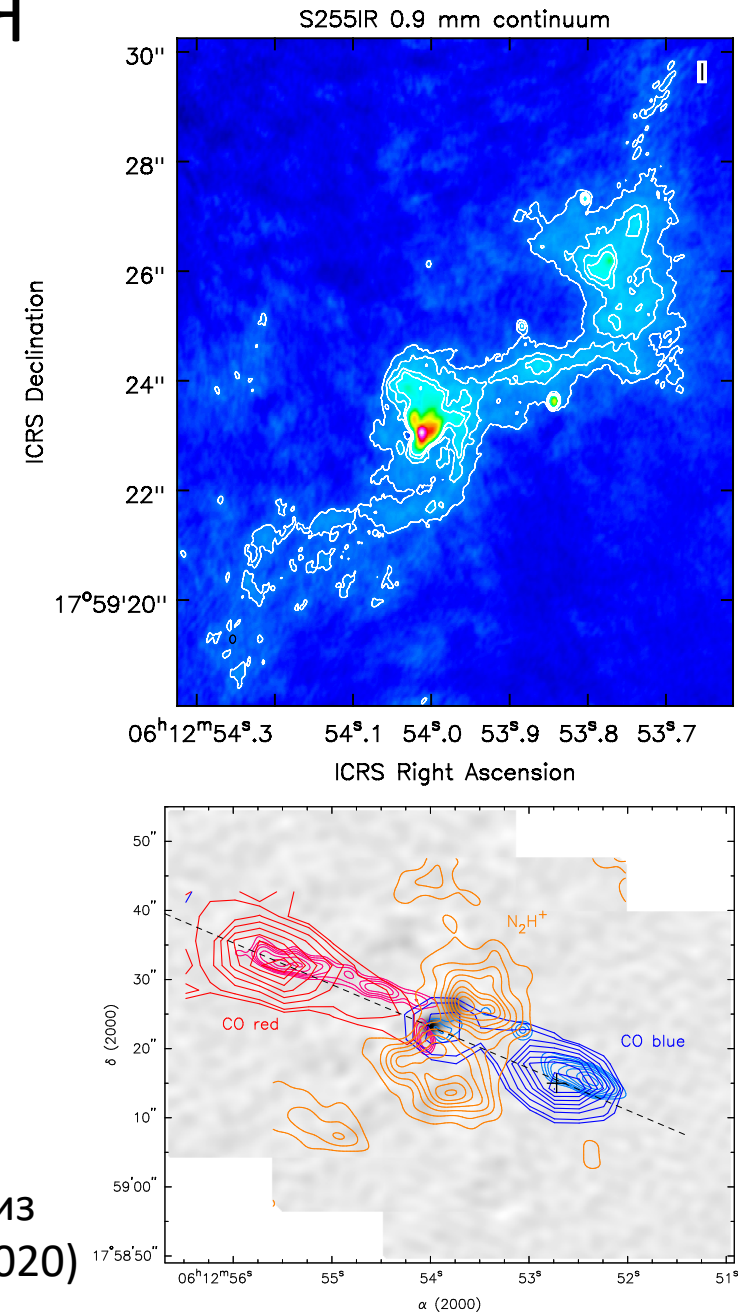


Механизмы образования  
массивных звезд?  
Звездообразование в ранней  
Вселенной?  
Роль магнитного поля?



Пример обзора областей  
звездообразования (Pirogov et al. 2007)

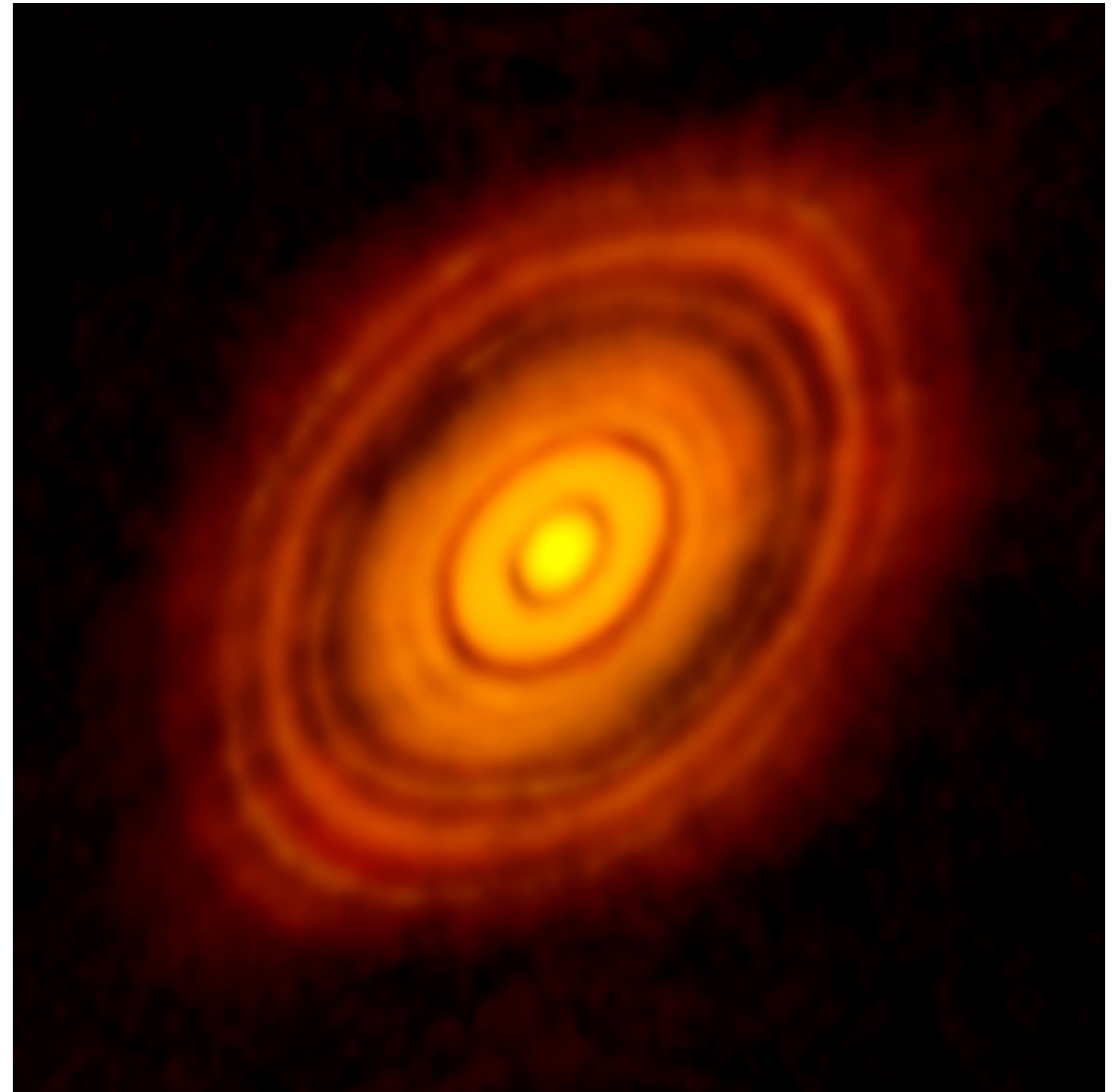
Детальные исследования одной из  
областей (Zinchenko et al. 2015, 2020)



# Протопланетный диск в HL Tau

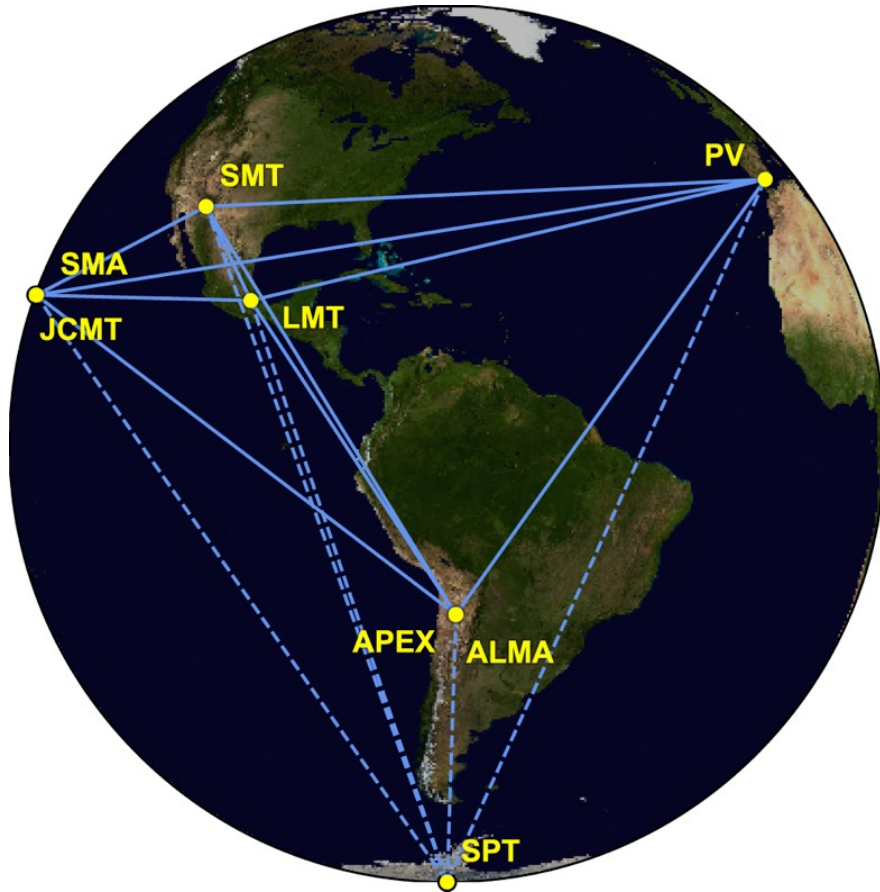
- Расстояние до HL Tau: примерно 130 парсек
- Частота: 233 ГГц
- Угловое разрешение: 35 миллисекунд или примерно 5 а.е.
- Приблизительный диаметр диска: 235 а.е.
- Интервал длин баз: от 15.2 м до 15.24 км

Brogan et al. 2015





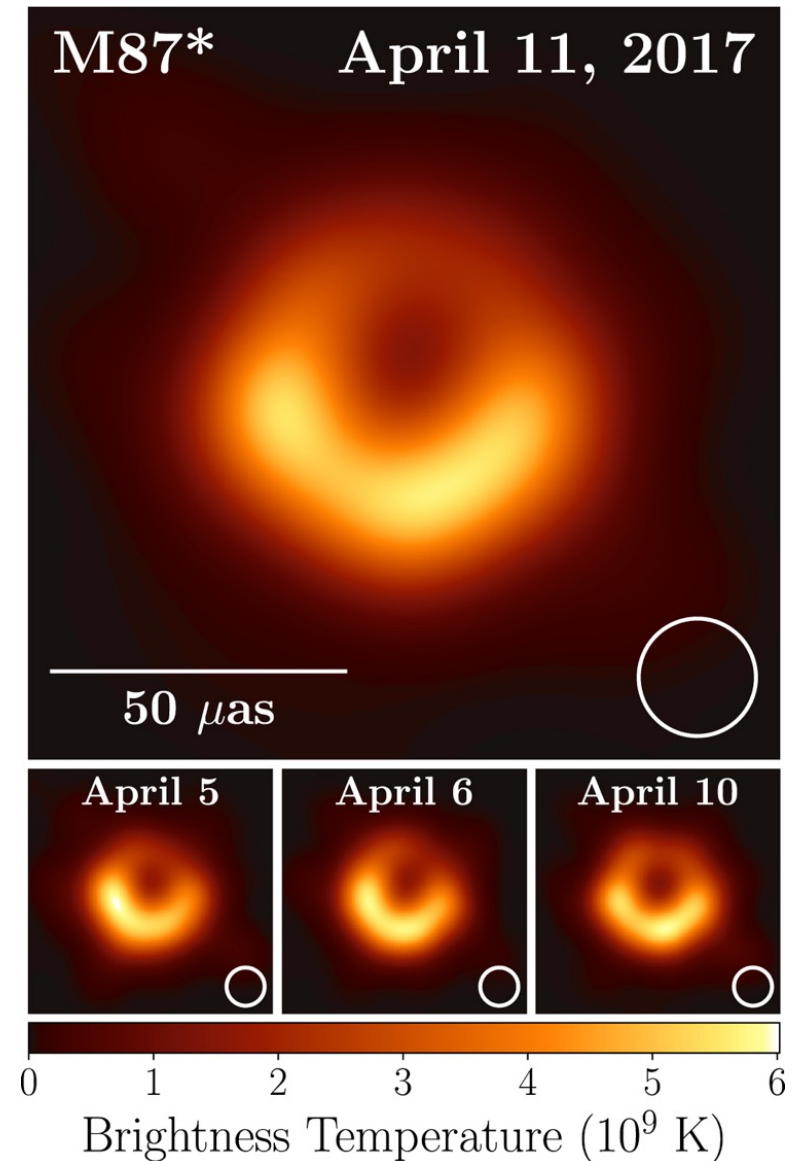
# Изображение «тени» сверхмассивной черной дыры в галактике M87



Телескоп горизонта событий

Наблюдения на  
волне 1.3 мм

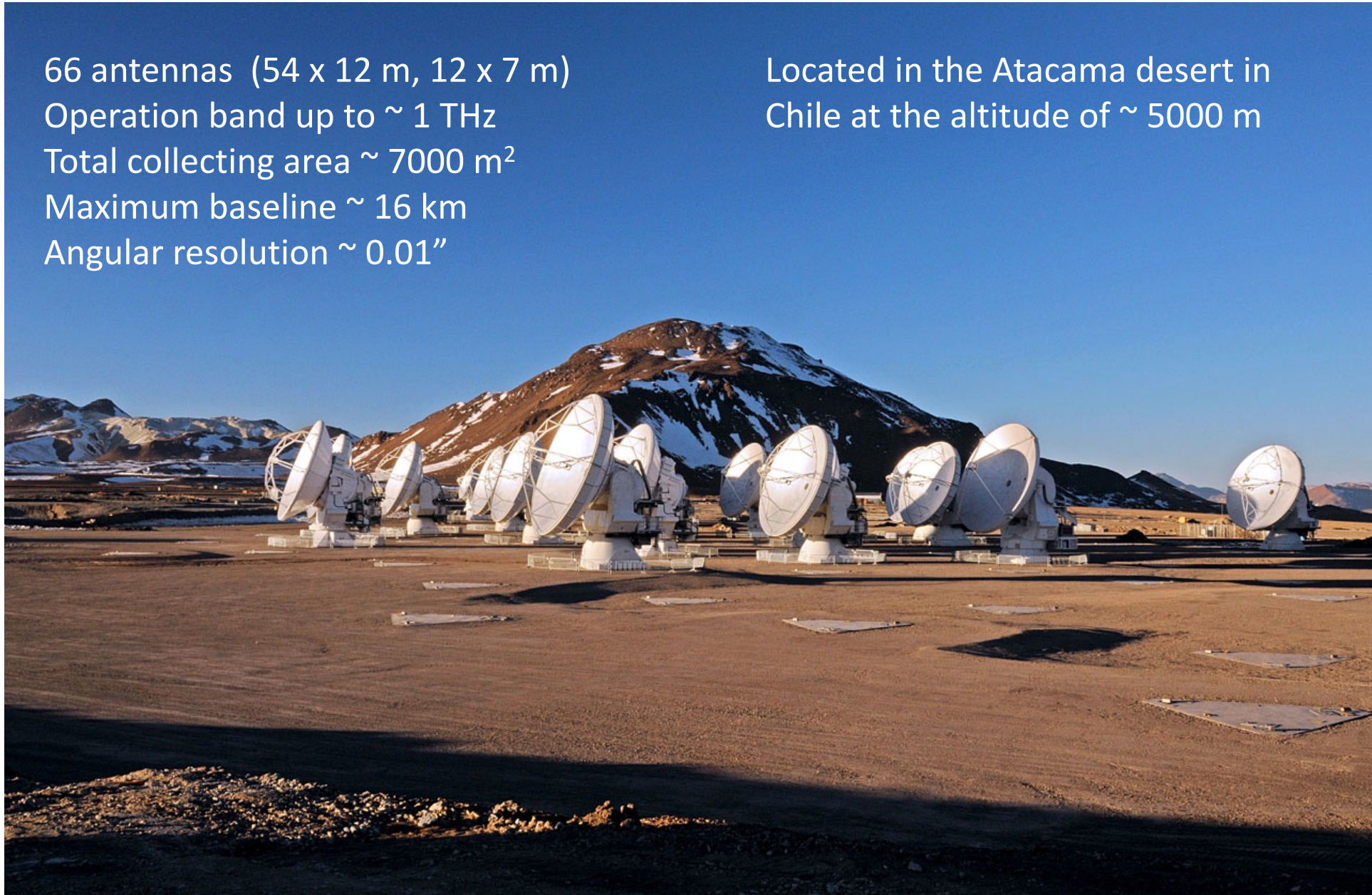
EHT collaboration, 2019



# Atacama Large Mm/submm Array

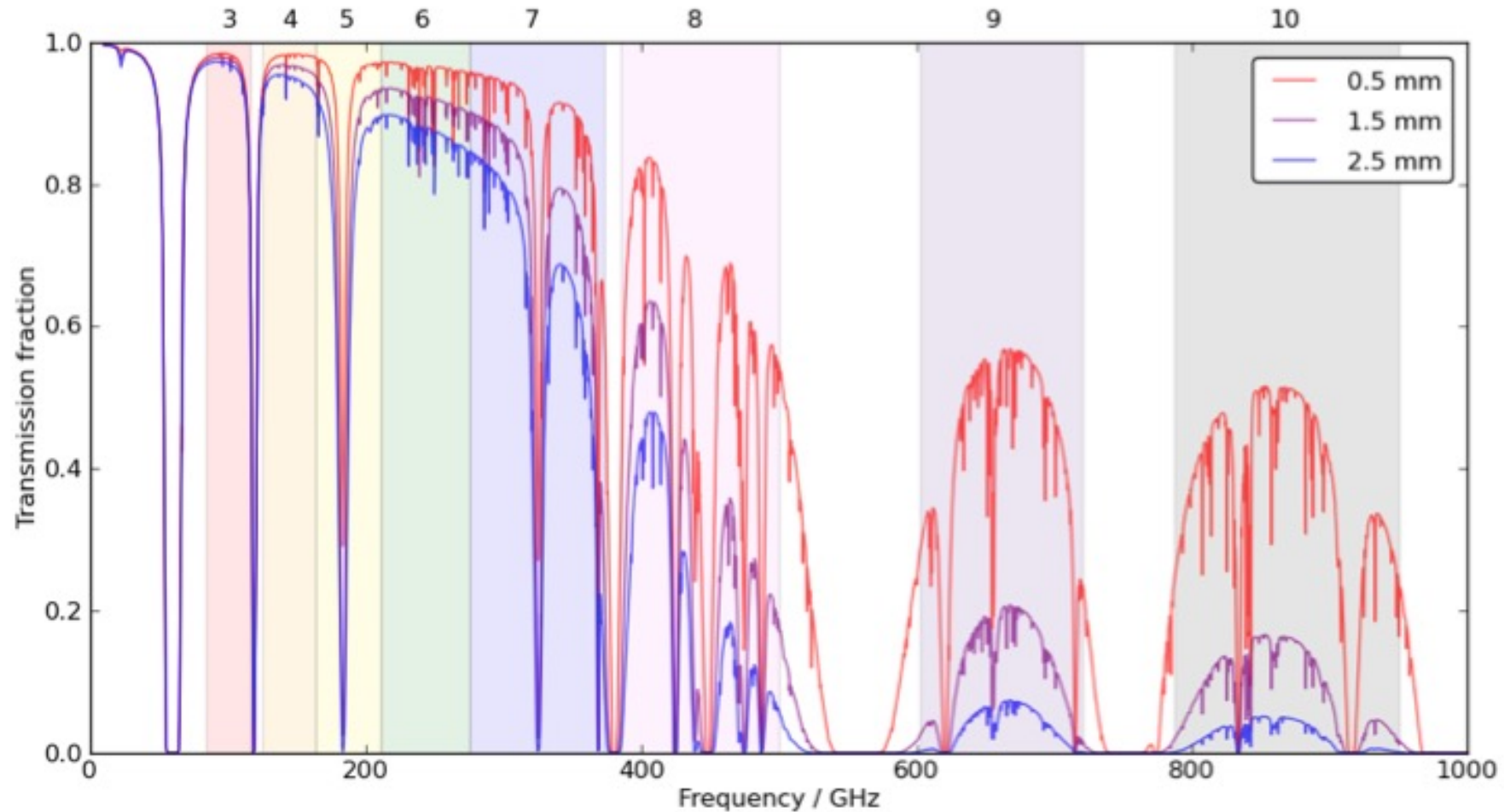
66 antennas (54 x 12 m, 12 x 7 m)  
Operation band up to  $\sim 1$  THz  
Total collecting area  $\sim 7000 \text{ m}^2$   
Maximum baseline  $\sim 16 \text{ km}$   
Angular resolution  $\sim 0.01''$

Located in the Atacama desert in  
Chile at the altitude of  $\sim 5000 \text{ m}$



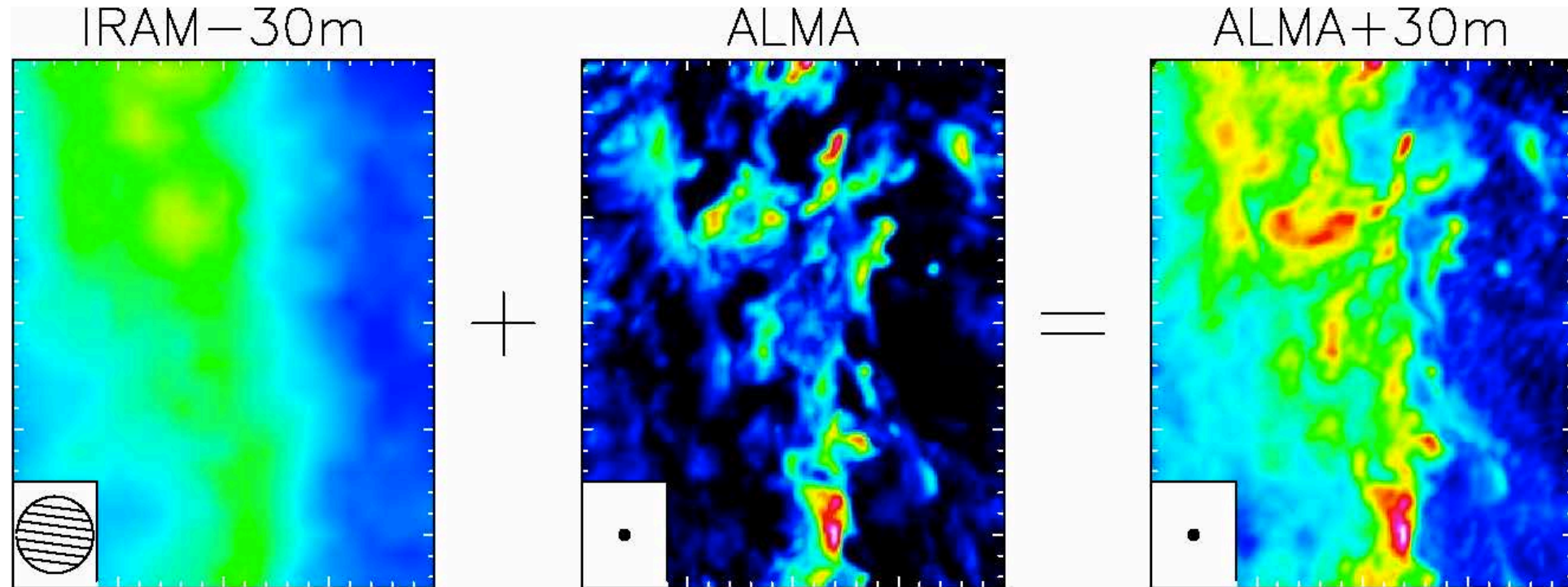


Прозрачность атмосферы на площадке ALMA (5000 м над уровнем моря) в зависимости от содержания водяного пара



# Одиночные антенны тоже нужны!

Радиоинтерферометры (в том числе ALMA), обеспечивая высокое угловое разрешение, «не видят» протяженную структуру.



The edge of the Orion molecular cloud illuminated by the Trapezium stars from the right. Credits: IRAM/ALMA/Pety

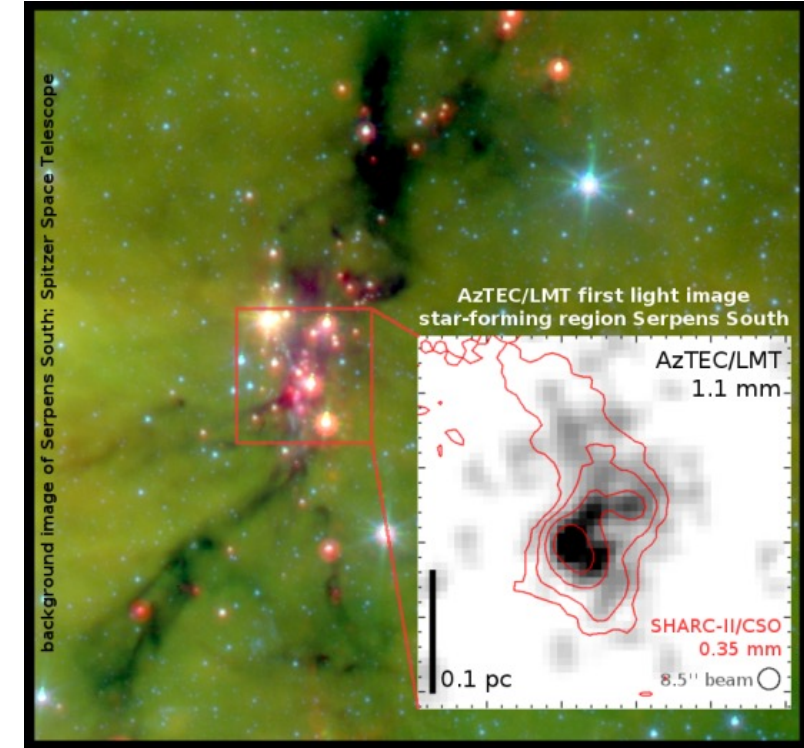
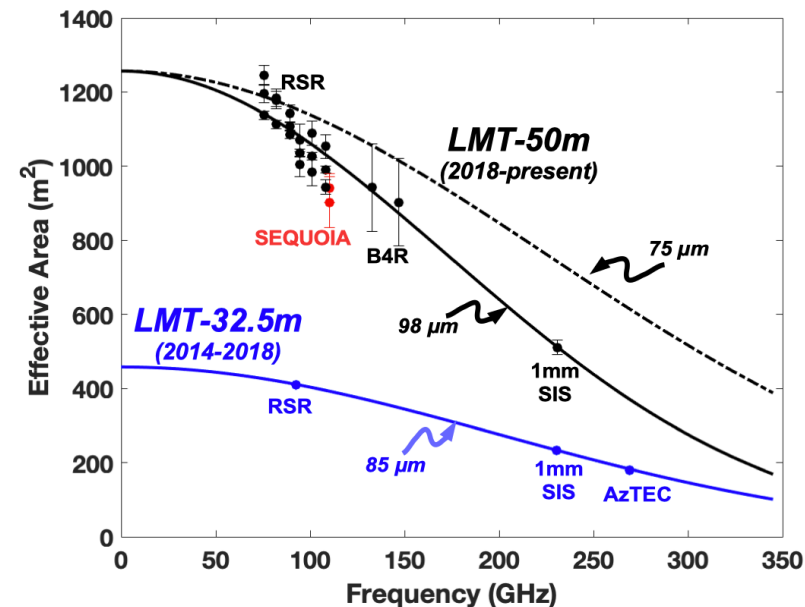
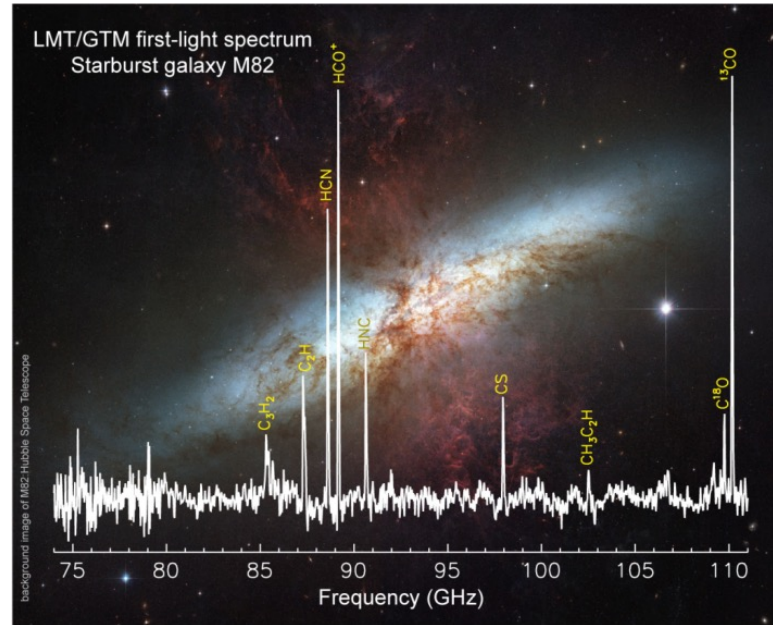
Goicoechea et al., Nature (2016)



# Большой миллиметровый радиотелескоп в Мексике (50 м)



Расположен на высоте 4600 м,  
СКО  $\sim 0.1$  мм, КИП (1.3мм)  $\sim 30\%$



Hughes et al. 2020



# Миллиметровые ( $\lambda \sim 3$ мм) радиотелескопы России



РТ-22 КрАО РАН, построен в 1966 г.  
СКО  $\sim 0.25$  мм, КИП (3мм)  $\sim 20\%$



РТ-13 ИПА РАН (3 шт.)  
СКО  $\sim 0.06$  мм  
VERTEX ANTENNENTECHNIK  
GmbH



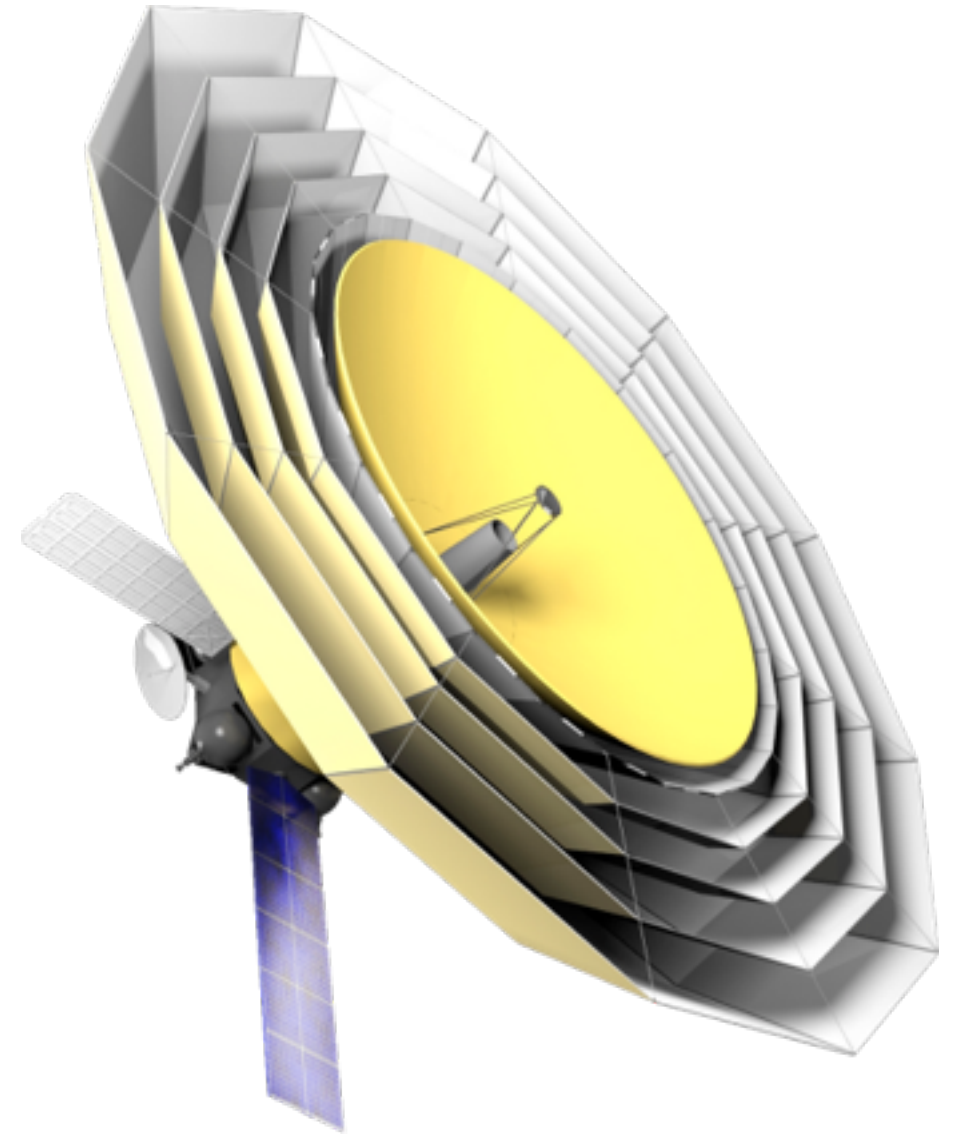
РТ-7.5 МГТУ  
СКО  $\sim 0.1$  мм (?)  
Используется для  
наблюдений Солнца на 3  
и 2 мм.



# Спектр-М («Миллиметр»)

Проект АКЦ ФИАН. Это будет 10-метровый космический телескоп, предназначенный для исследования различных объектов во Вселенной в миллиметровом и инфракрасном диапазонах длин волн от 0,07 до 10 мм. Обсерватория имеет два режима работы: режим одиночной антенны и интерферометр космос-Земля. Первый режим обеспечит высокое угловое разрешение до  $10^{-8}$  –  $10^{-9}$  угловых секунд.

Высокая чувствительность достигается за счет глубокого охлаждения зеркала телескопа и бортовой научной аппаратуры. Обсерватория будет работать на орбите вблизи точки Лагранжа L2 на расстоянии 1,5 миллиона километров от Земли в противосолнечном направлении.





# Суффа: РТ-70

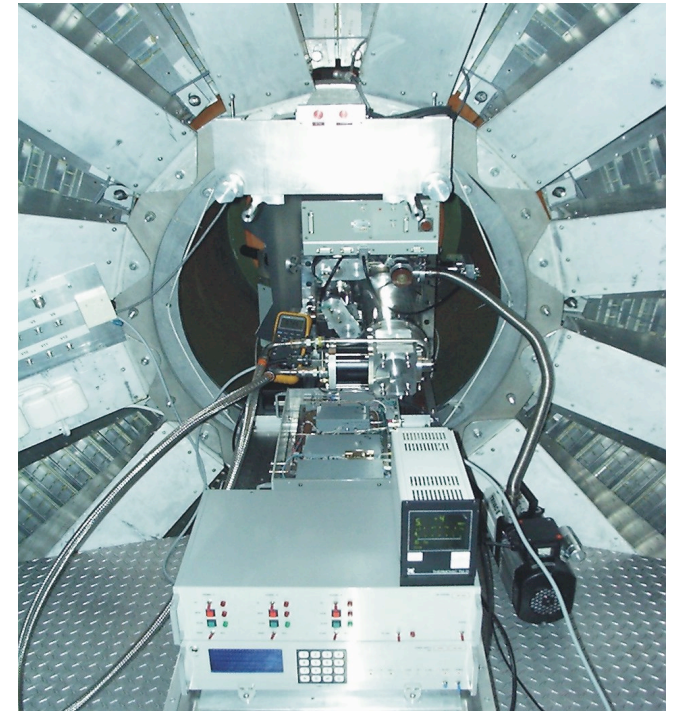




# Научный и технический задел

- В РФ имеется несколько научных групп, проводящих астрофизические исследования на коротких миллиметровых и субмиллиметровых волнах с использованием имеющихся в мире инструментов: в ИПФ РАН, АКЦ ФИАН, ИНАСАН, УрФУ.
- Имеется неплохой задел в разработке приёмной техники мм/субмм диапазона длин волн: в ИПФ РАН, ИРЭ РАН, МПГУ, НГТУ, ННГУ. Ряд российских специалистов активно участвует в разработках самых передовых приёмников за рубежом. Есть проблемы с технологической и элементной базой!

СИС приёмник ИПФ РАН диапазонов 3 и 2 мм  
на 14-м антенне в Финляндии



# Выводы

- Миллиметровая и субмиллиметровая астрономия является важнейшим и часто уникальным источником информации для решения ряда актуальных астрофизических проблем.
- Инструментальная база миллиметровой и субмиллиметровой астрономии в мире активно развивается. Россия сильно отстает в этой области. В РФ нет конкурентоспособных радиотелескопов на волны короче 3 мм. В то же время в РФ есть неплохой задел в проведении научных исследований и разработке приёмной аппаратуры.
- Наземные и космические инструменты взаимно дополняют друг друга.
- На территории РФ нет площадок, сравнимых по астроклимату на мм/субмм волнах с лучшими в этом смысле местами на Земле. В то же время есть площадки, где возможны эпизодические наблюдения на волнах до 0.8 мм и, возможно, короче.
- Создание хотя бы одного субмиллиметрового телескопа диаметром 15-20 м позволит значительно повысить уровень проводимых в стране астрофизических исследований и включиться в международные проекты (Телескоп Горизонта Событий).
- Завершение строительства РТ-70 на плато Суффа при достижении запланированных характеристик по точности поверхности позволит выйти на передовые позиции в этой области.

Спасибо за внимание!