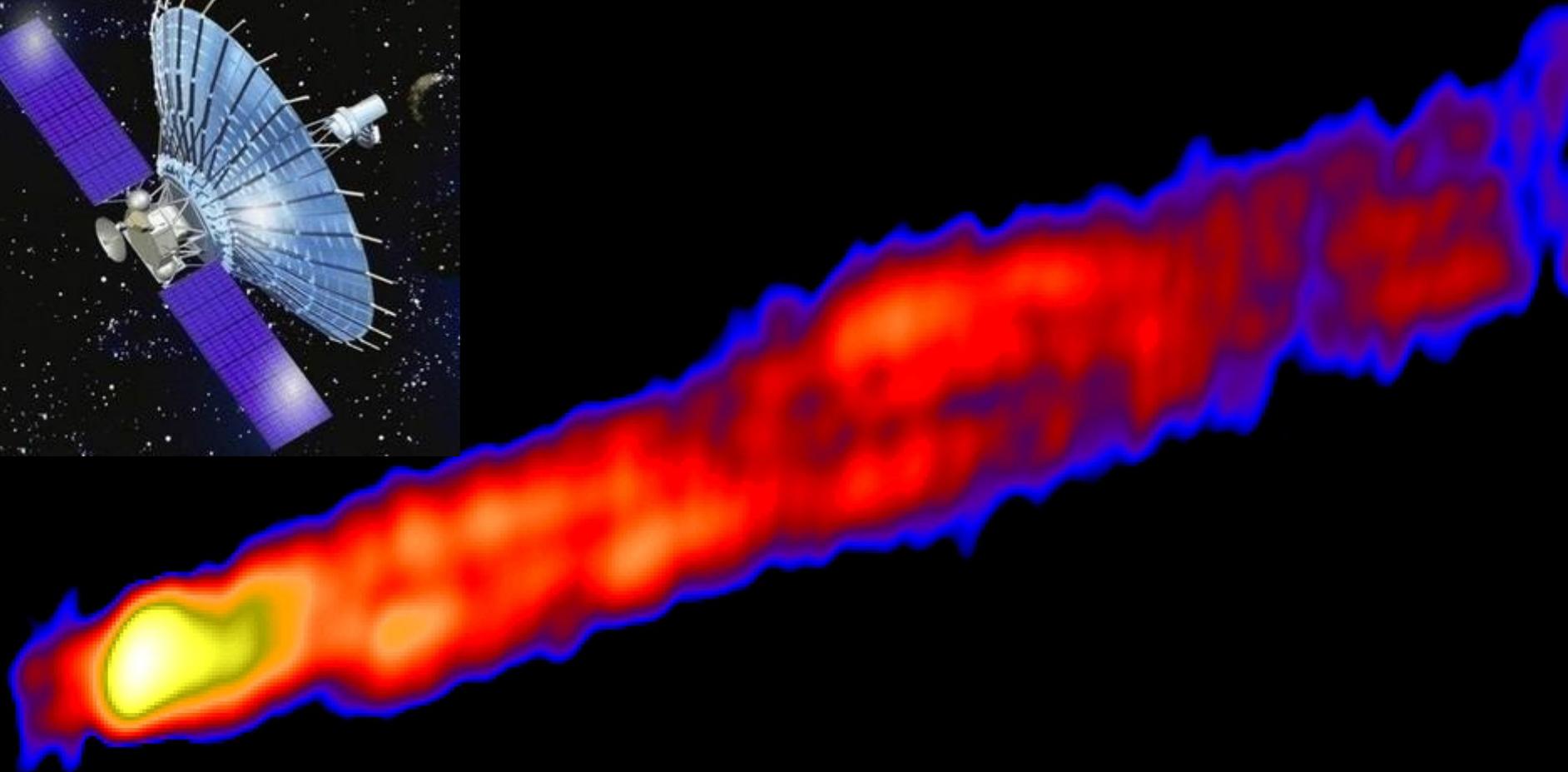
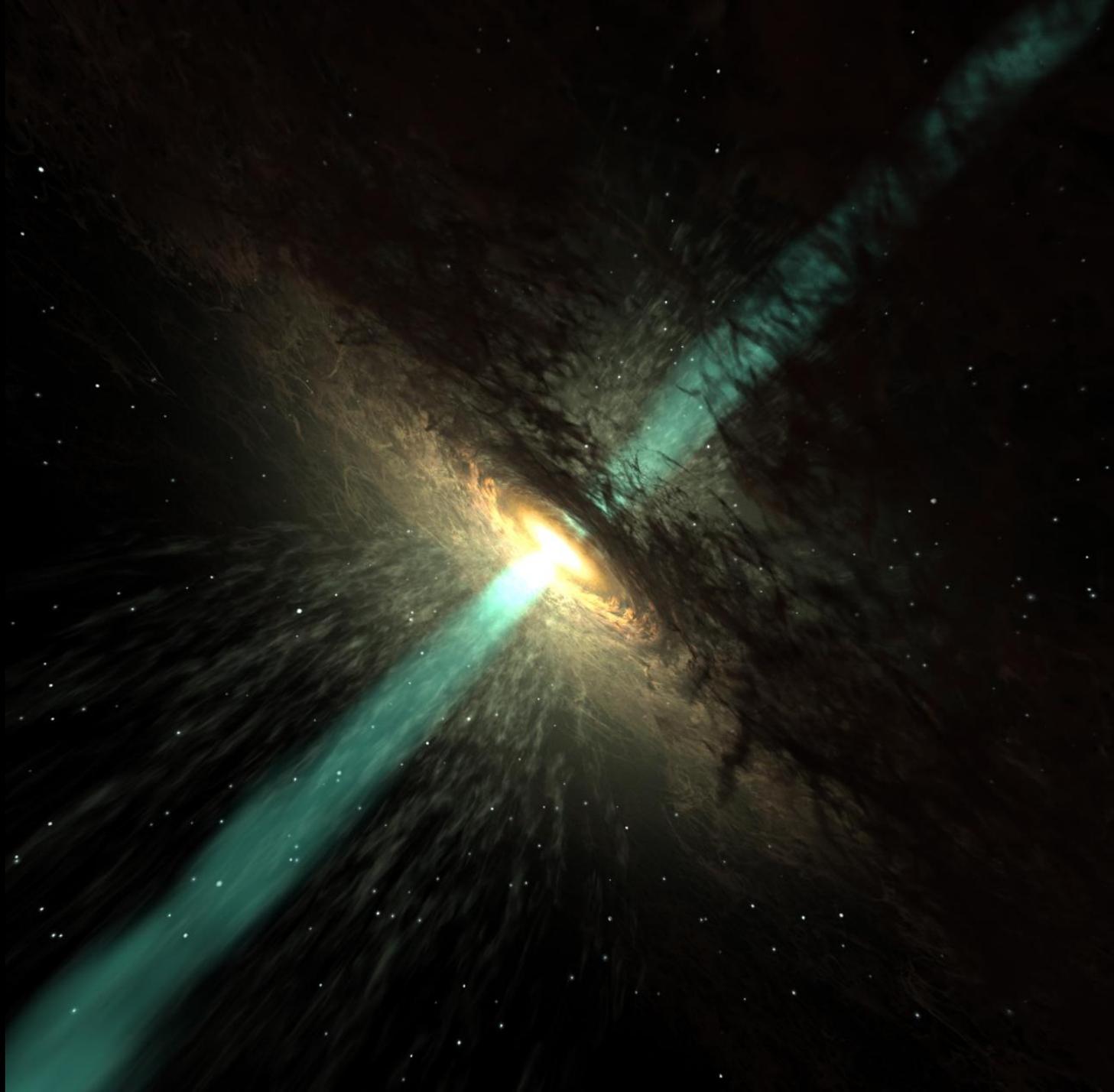


Ядра галактик

Ю.Ю. Ковалев (МФТИ и ФИАН)

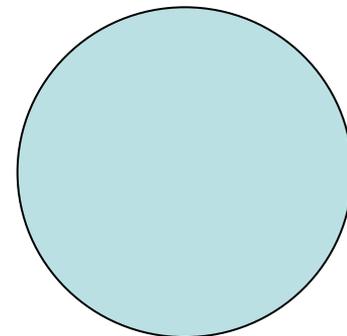




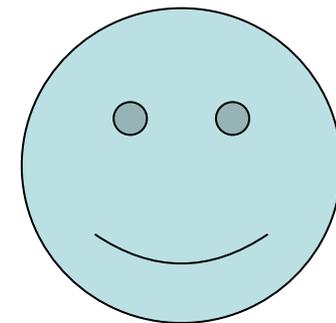
Угловое разрешение телескопов – ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗУЧАТЬ МЕЛКИЕ ДЕТАЛИ



одиночного радиотелескопа примерно
равно длине волны наблюдения разделить
на диаметр зеркала: λ/D

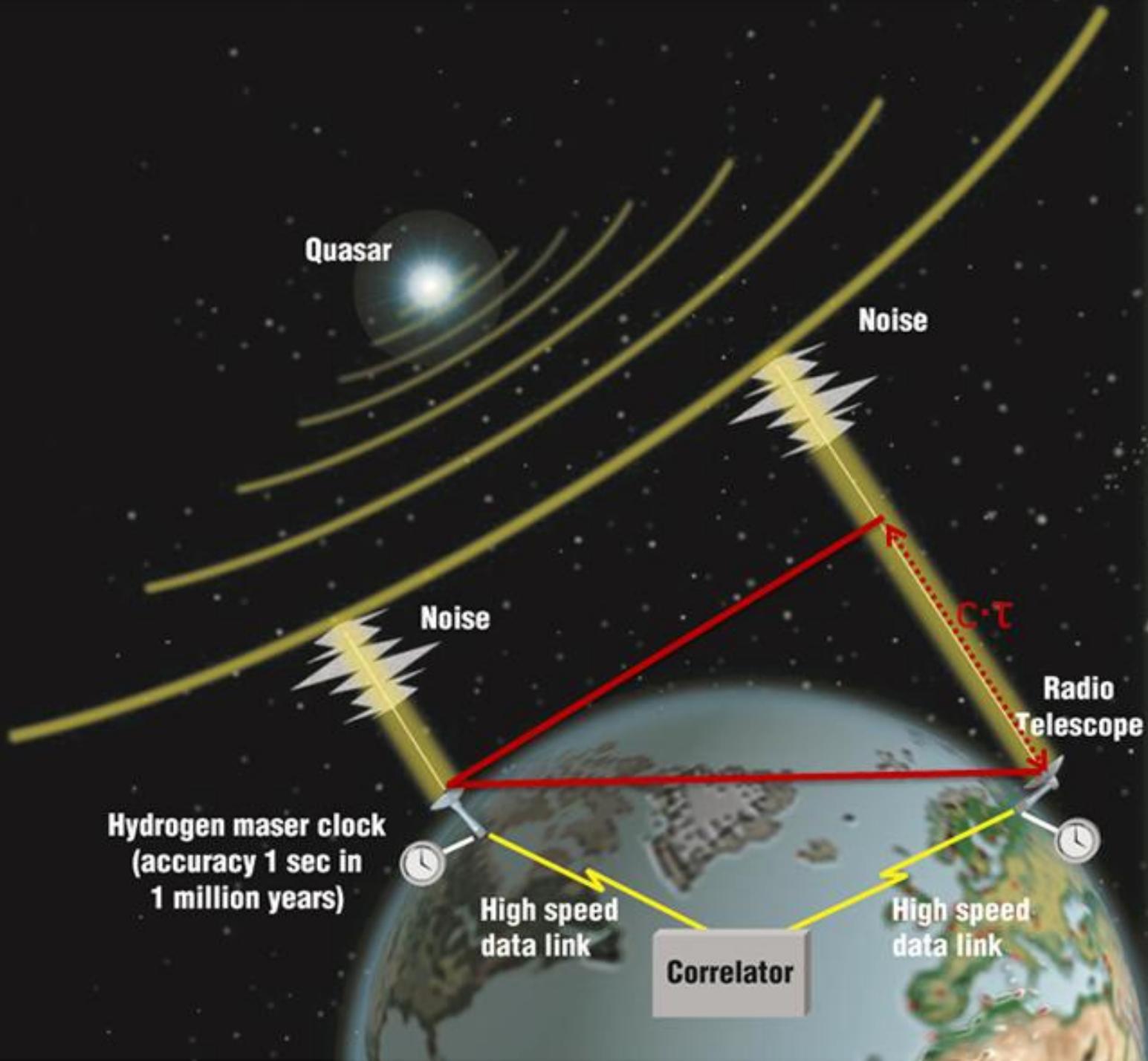


интерферометра примерно
равно длине волны наблюдения
разделить на расстояние между
телескопами: λ/B



А интерферометра Космос-
Земля может улучшить
разрешение еще больше.





Quasar

Noise

Noise

Radio
Telescope

Hydrogen maser clock
(accuracy 1 sec in
1 million years)

High speed
data link

Correlator

High speed
data link

$C \cdot T$

F

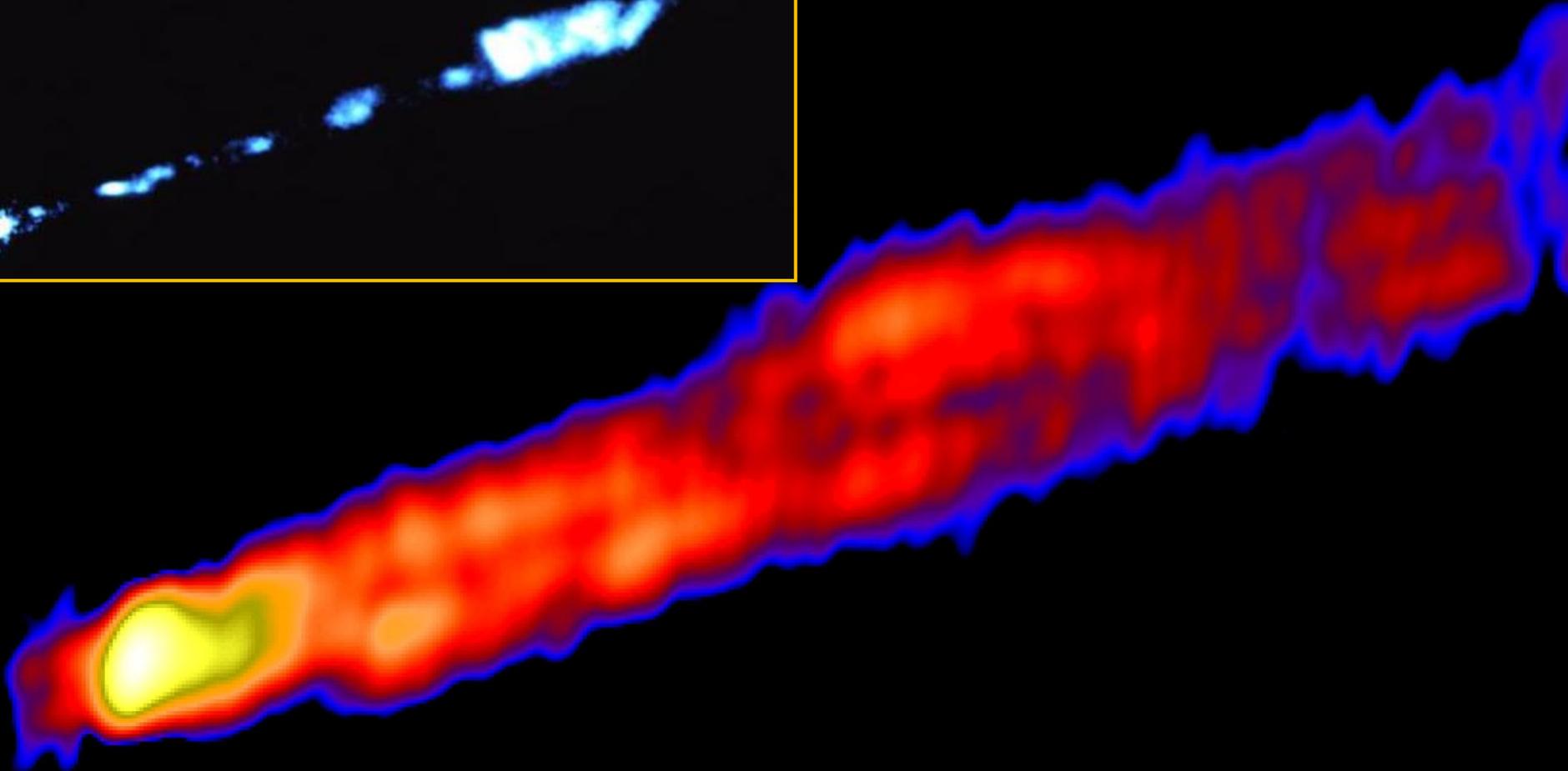
Мировая РСДБ решетка



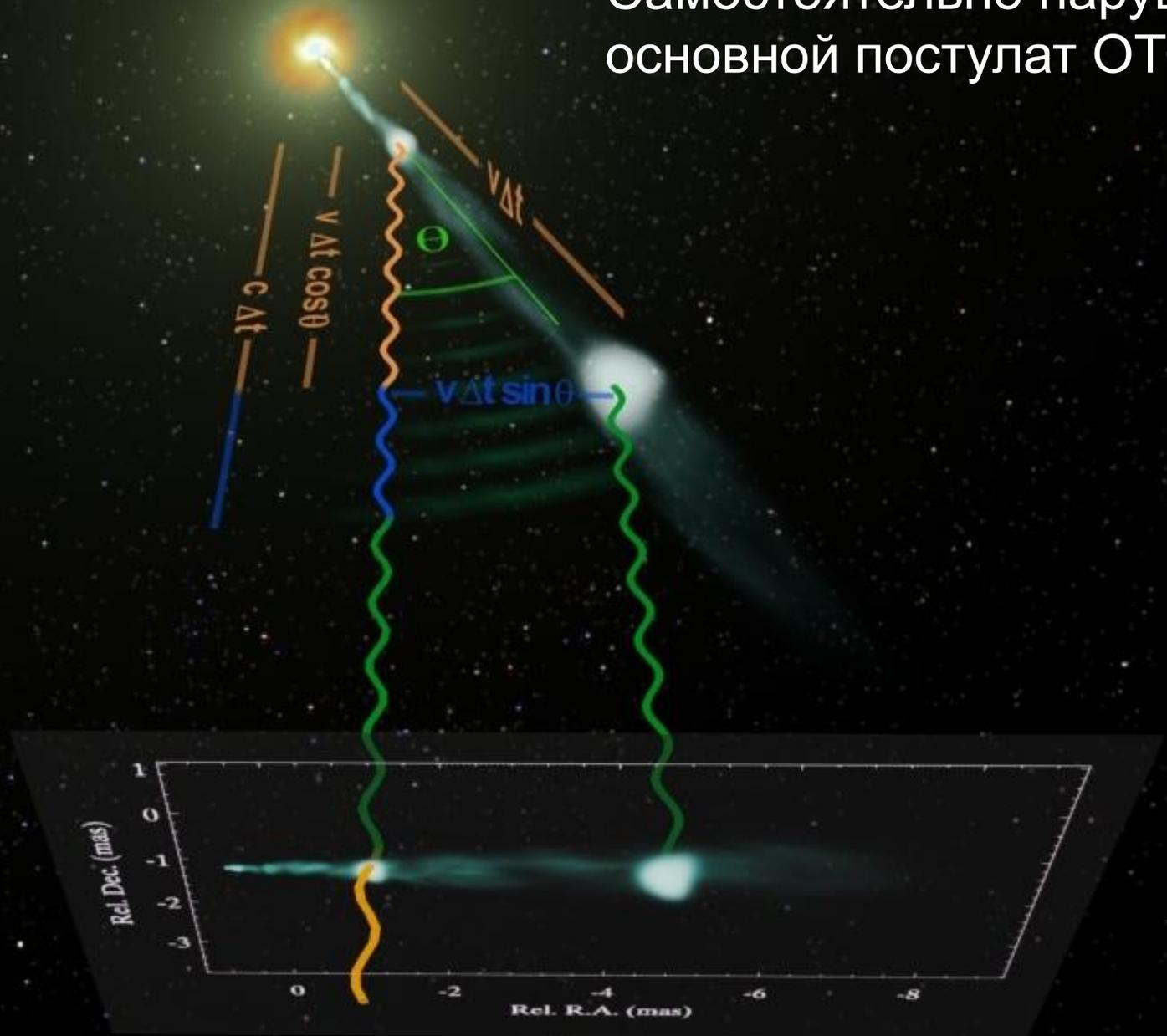
Выброс релятивистской плазмы в галактике Дева А

HST изображение
Credit: F. Duccio Macchetto/NASA/ESA

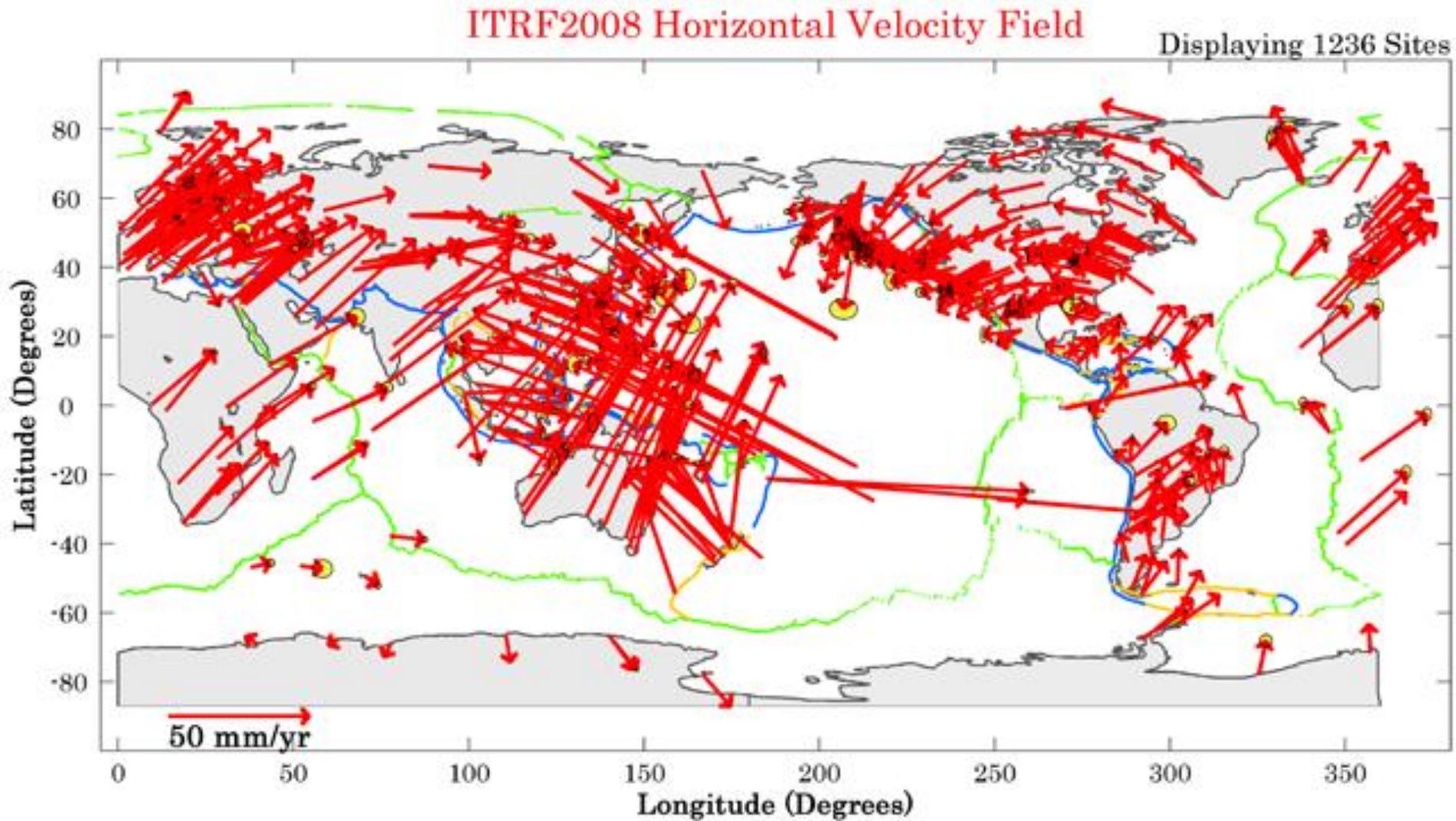
15 ГГц VLBA+VLA карта



Домашнее задание:
Самостоятельно нарушить
основной постулат ОТО.

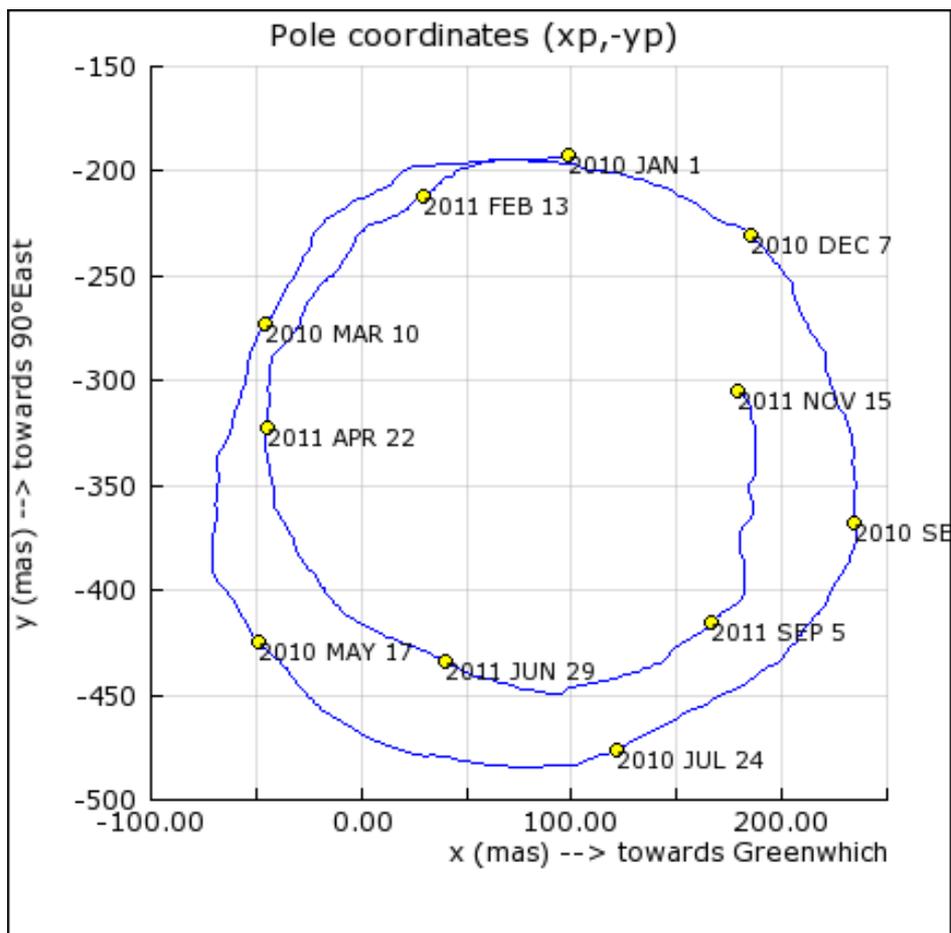


Как двигаются материки?

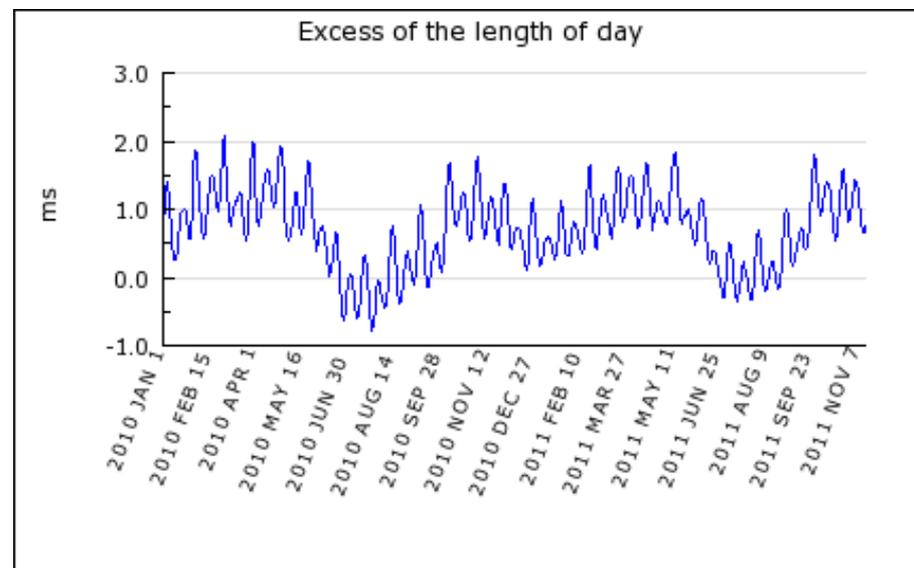


Параметры вращения Земли – необходимая информация для точной работы ГЛОНАСС / GPS

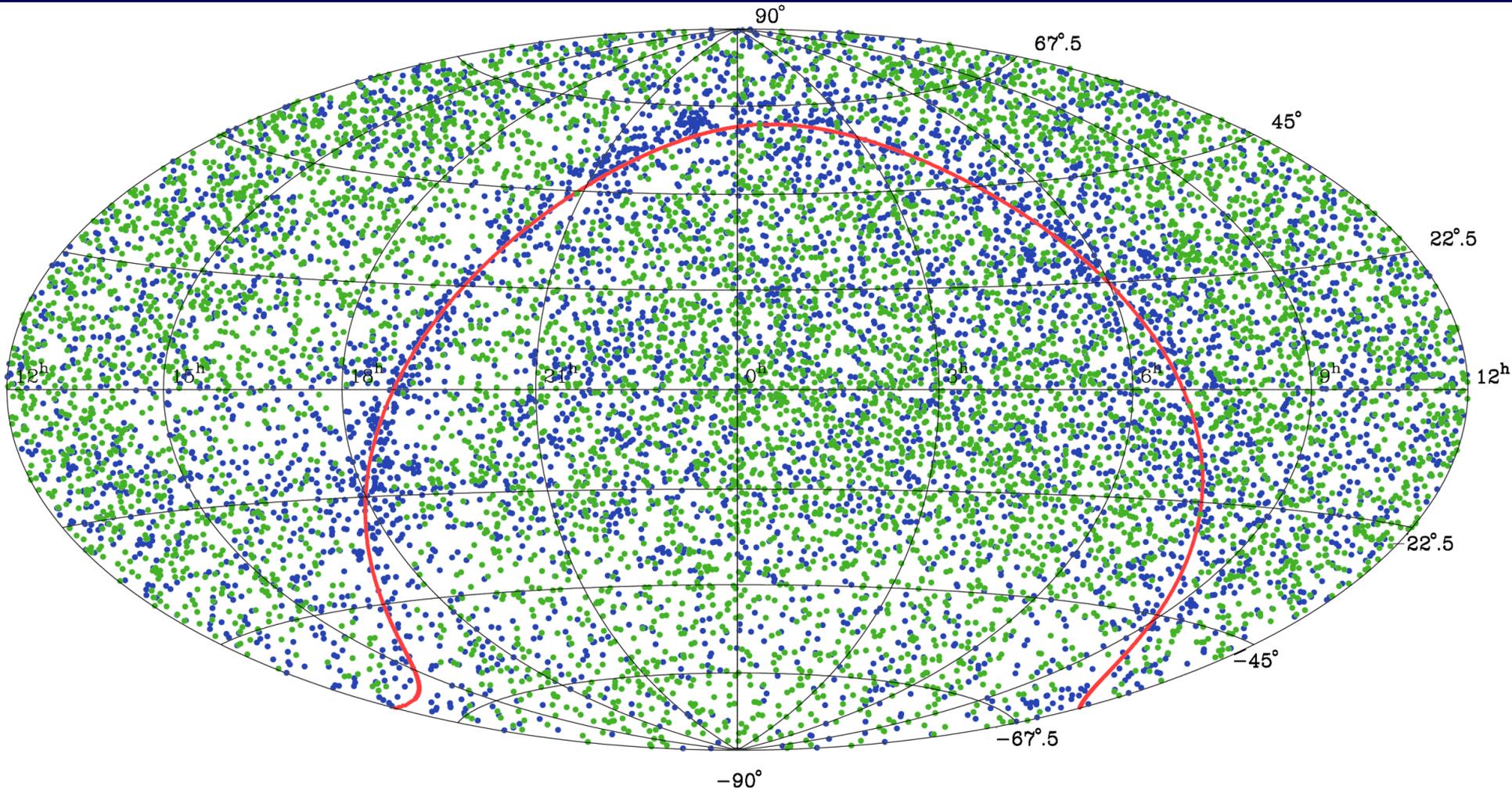
Направление полюса мира



Реальная длительность суток: отличие от 24 часов



ИСО: радио – оптика



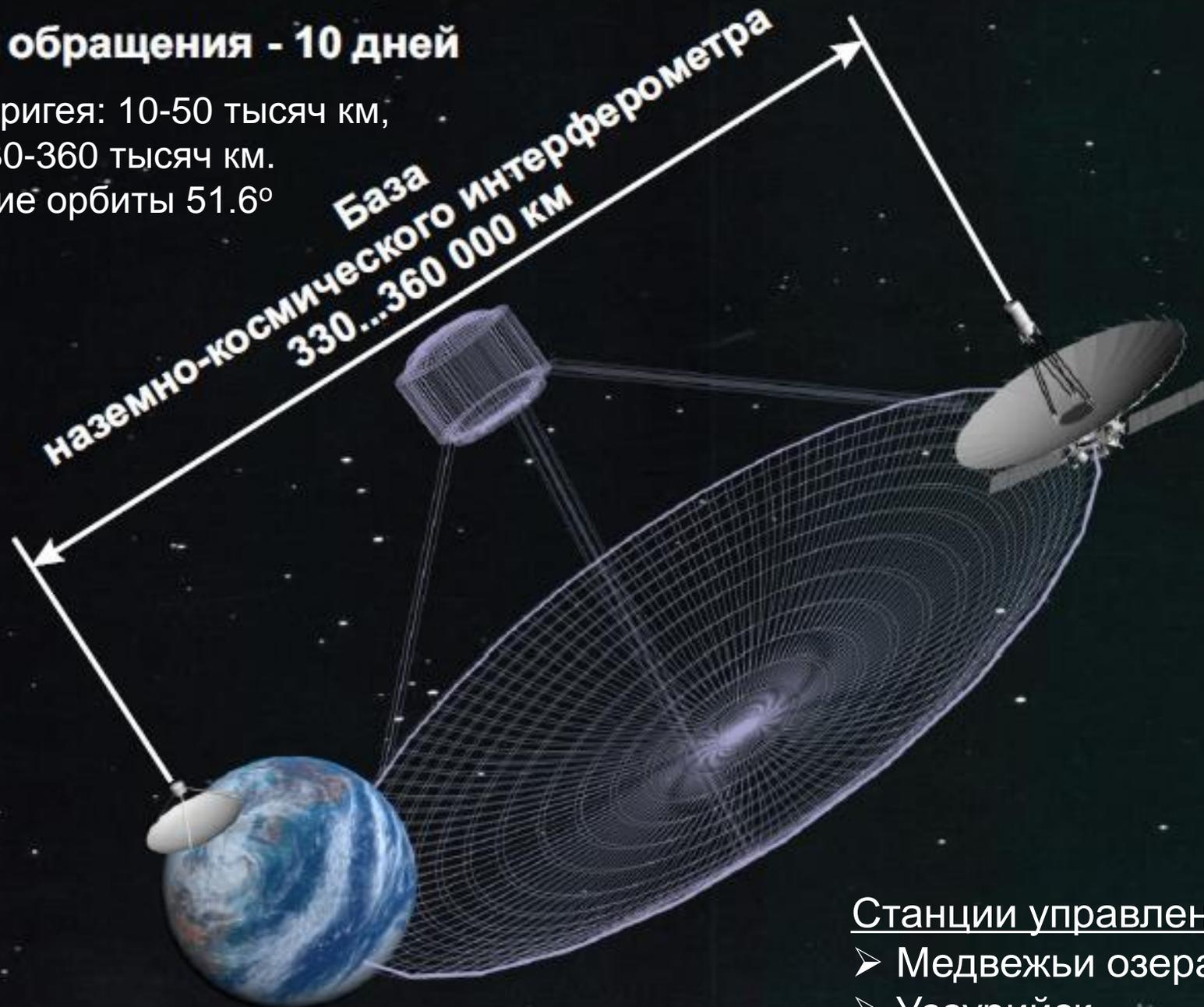
РСДБ: 13 тысяч компактных внегалактических объектов.

Gaia DR1: 1.1 миллиард объектов (135 тысяч квазаров).

Совпало около 6 тысяч (зеленые), $p < 0.0002$.

Период обращения - 10 дней

Радиус перигея: 10-50 тысяч км,
апогея: 330-360 тысяч км.
Наклонение орбиты 51.6°



Станции управления:

- Медвежье озера,
- Уссурийск.

Успешно запущен в 2011 году



CERTIFICATE

**The largest radio space telescope
is the Spektr-R,
which is 10 metres across,
and was launched from the
Baikonur Cosmodrome
in Kazakhstan,
on 18 July 2011**

OFFICIALLY AMAZING



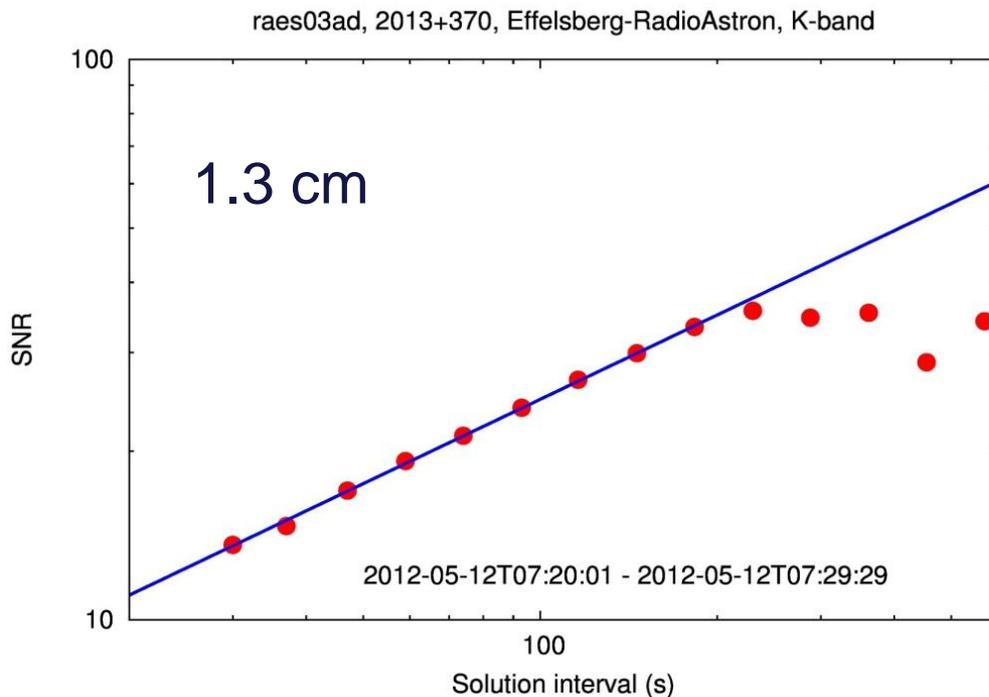
© GUINNESS WORLD RECORDS LIMITED 2011. THIS CERTIFICATE DOES NOT NECESSARILY DENOTE AN ENTRY INTO ANY PRODUCTS DISTRIBUTED OR OWNED BY GUINNESS WORLD RECORDS LIMITED AND MUST BE REPRODUCED WITHOUT PRIOR WRITTEN PERMISSION OF GUINNESS WORLD RECORDS LIMITED.

GUINNESSWORLDRECORDS.COM



Первый отечественный активный водородный стандарт частоты космического исполнения

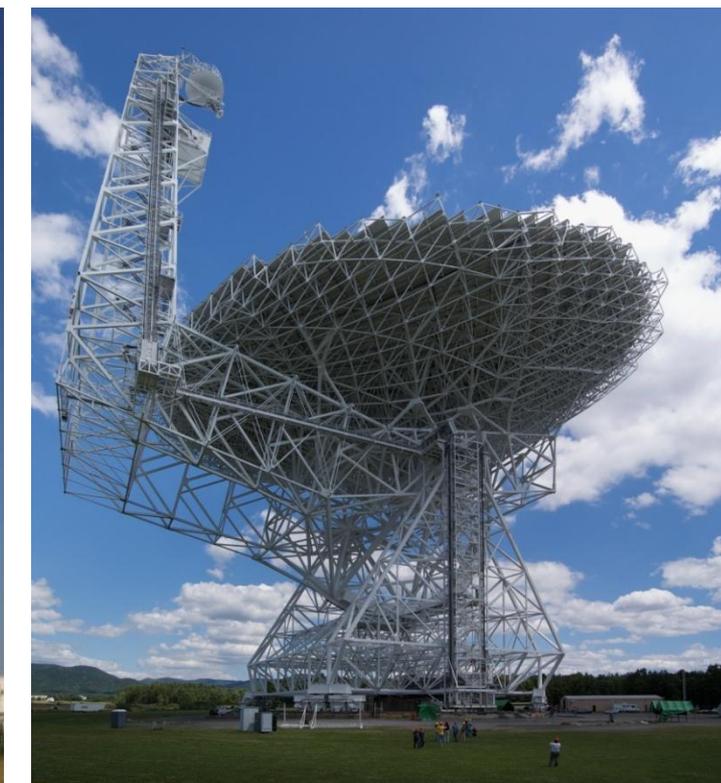
Время-Ч: спасибо!!



Время когерентности:
более 3 мин!

Наземное РСДБ плечо: более 40 телескопов

Российская сеть Квазар, Евпатория (Украина), телескопы Европы, США, Африки, Австралии, Китая, Кореи, Японии...



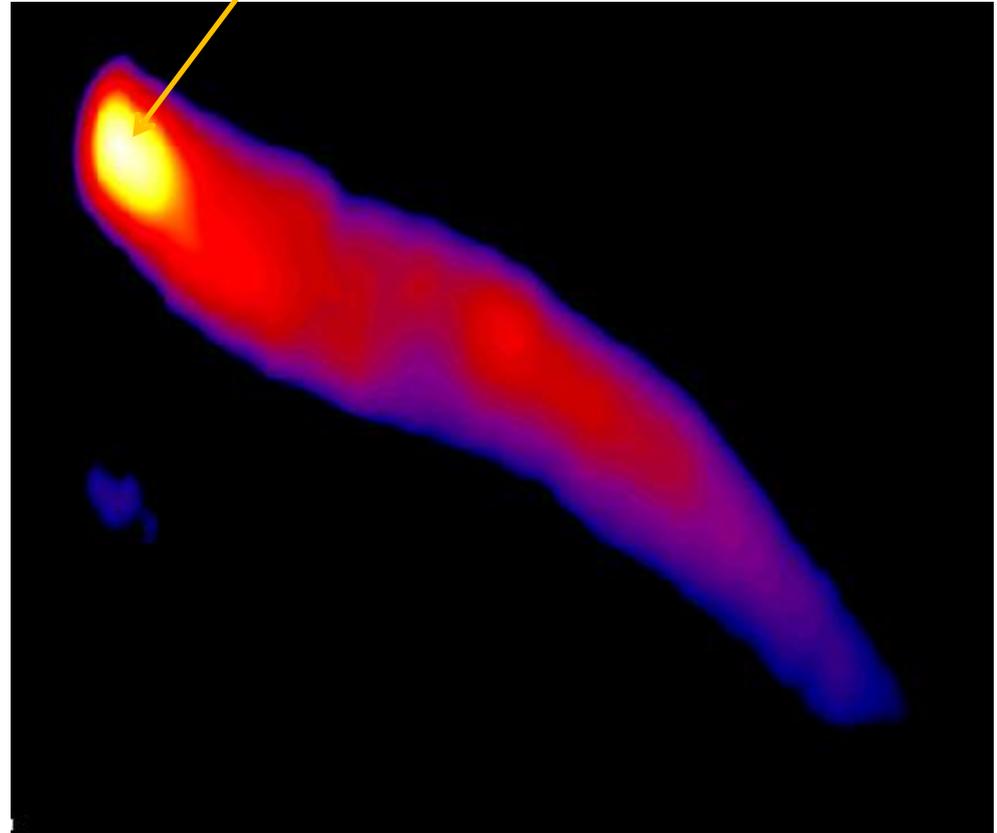
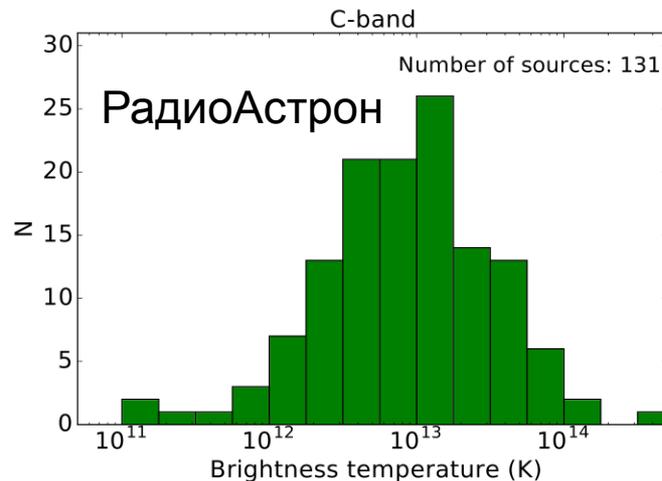
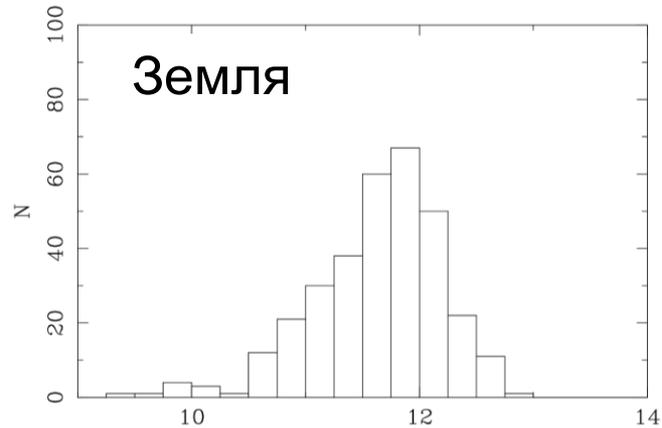
Принцип открытого доступа



gettyimages®
ROSLAN RAHMAN

Предельная яркость ядер квазаров

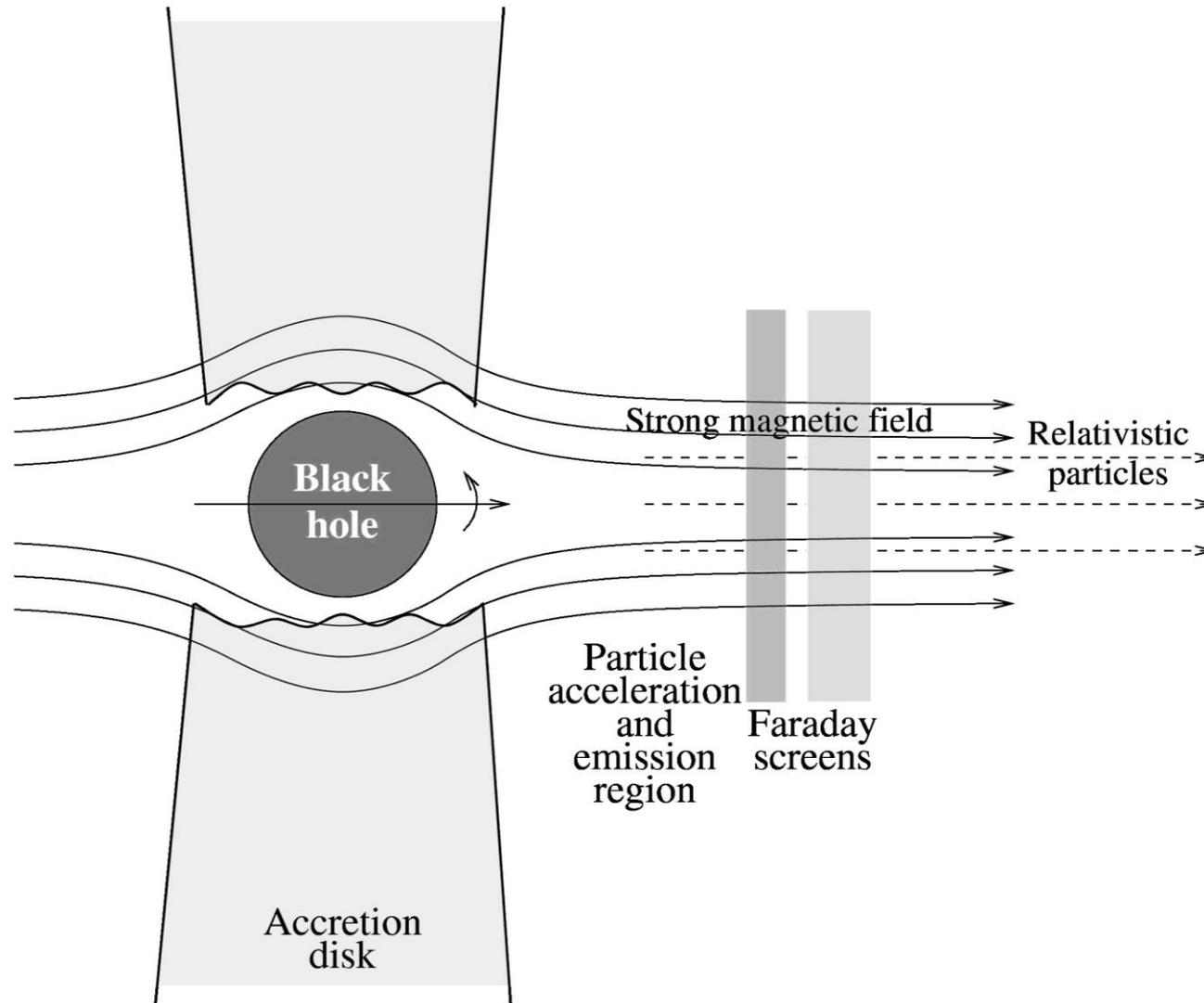
Задача обзора ядер активных галактик на РадиоАстрон:
Измерить и исследовать яркость ядер квазаров с целью лучше понять физику их излучения при учете эффекта рассеяния.



Как получить экстремальную яркость?

- ✓ Очень высокое релятивистское усиление с *типичным* Доплер-фактором $\delta \sim 100$ – не подтверждается РСДБ-кинематикой струй. Типичная измеряемая РСДБ кинематика не имеет отношения к течению плазмы?
- ✓ Постоянное ре-ускорение частиц на расстоянии несколько парсек от центральной машины
Как? Вспышки наблюдаются только эпизодически. Должен бы наблюдаться высокий уровень потока в γ -ray. Кстати, и в рентгене тоже. Магнитное перезамыкание?
- ✓ Релятивистские протоны или когерентное излучение.
Решит проблему генерации космических лучей, но очень сложно ускорить. Нужны очень большие магнитные поля (Фарадеевское вращение) – ищем, проверяем.
- ✓ Предположение равномерного распределения поле-частицы не выживает.

Фарадеевское вращение в окрестности центральной машины



Основные очень простые соотношения

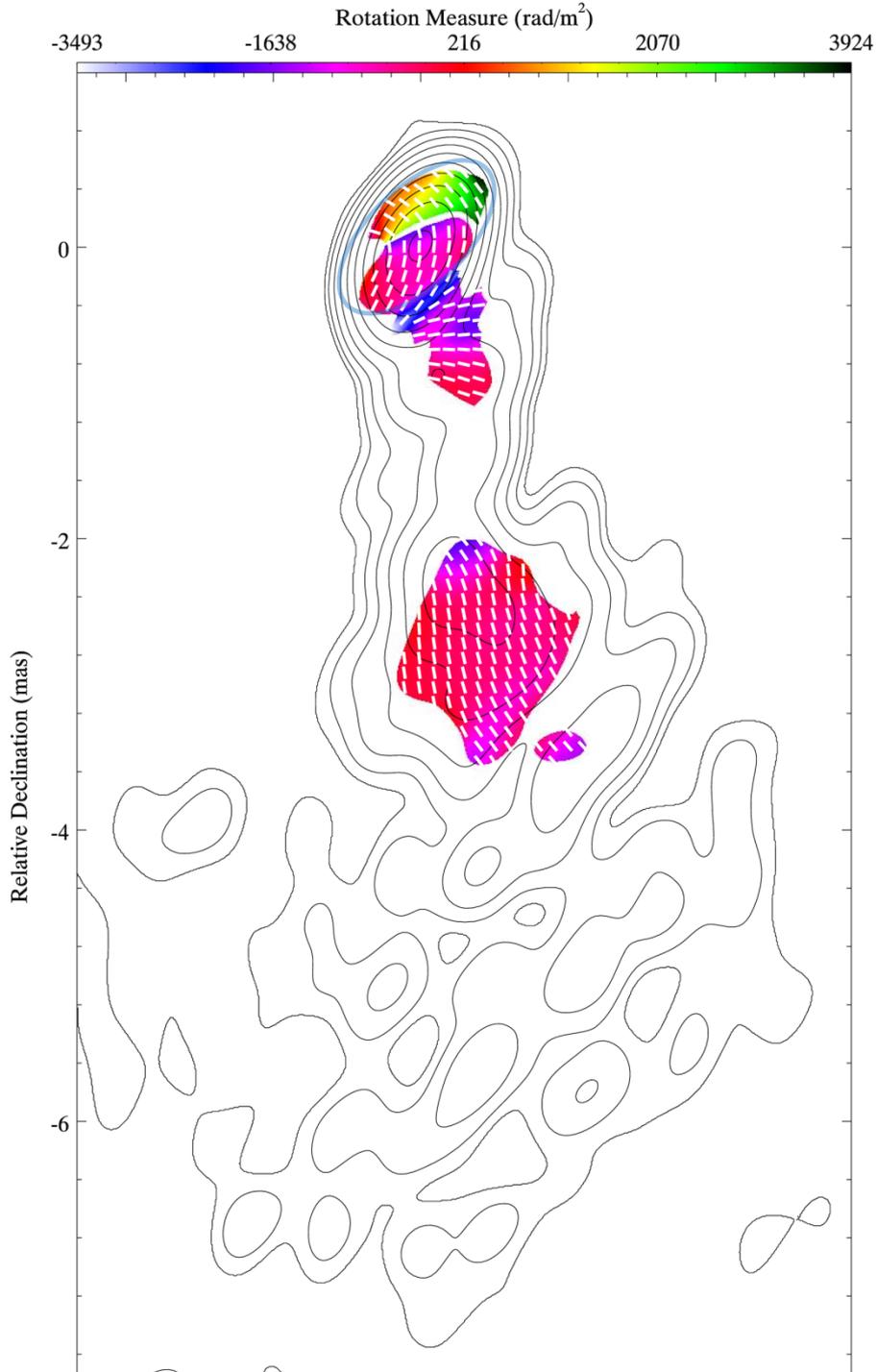
Фарадеевское вращение RM

(в общем случае, Фарадеевская толщина):

$$RM = \int_{\text{толщина}} \vec{B} \cdot \vec{g} \, dz$$

Вращение угла поляризации EVPA:

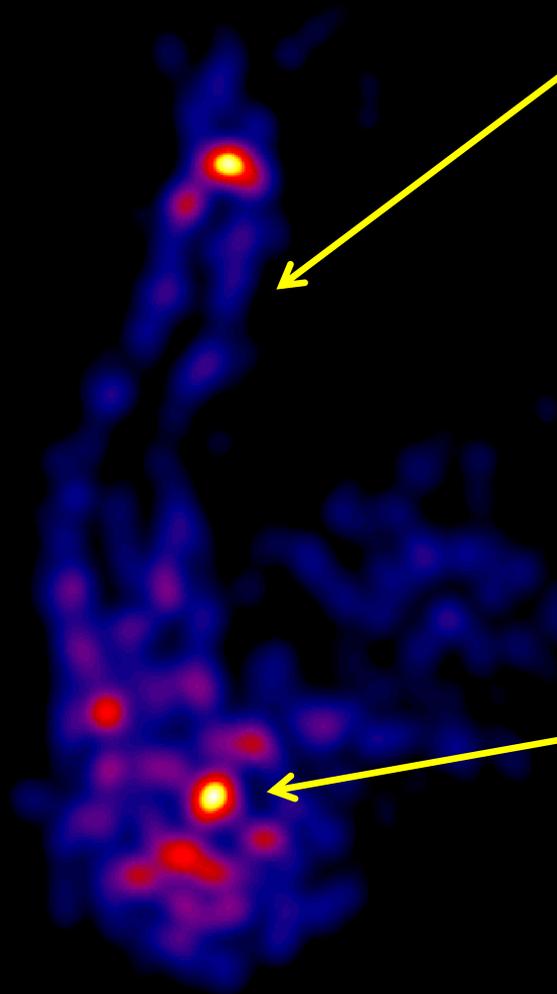
$$\psi = RM \cdot \lambda_{[m]}^2$$



VL Lacertae: Фарадеевское вращение

На суперкомпьютере
удалось повторить
результат РадиоАтсрона
для джета со
**спиральным
магнитным полем в
основании.**

3C84 22.2 GHz



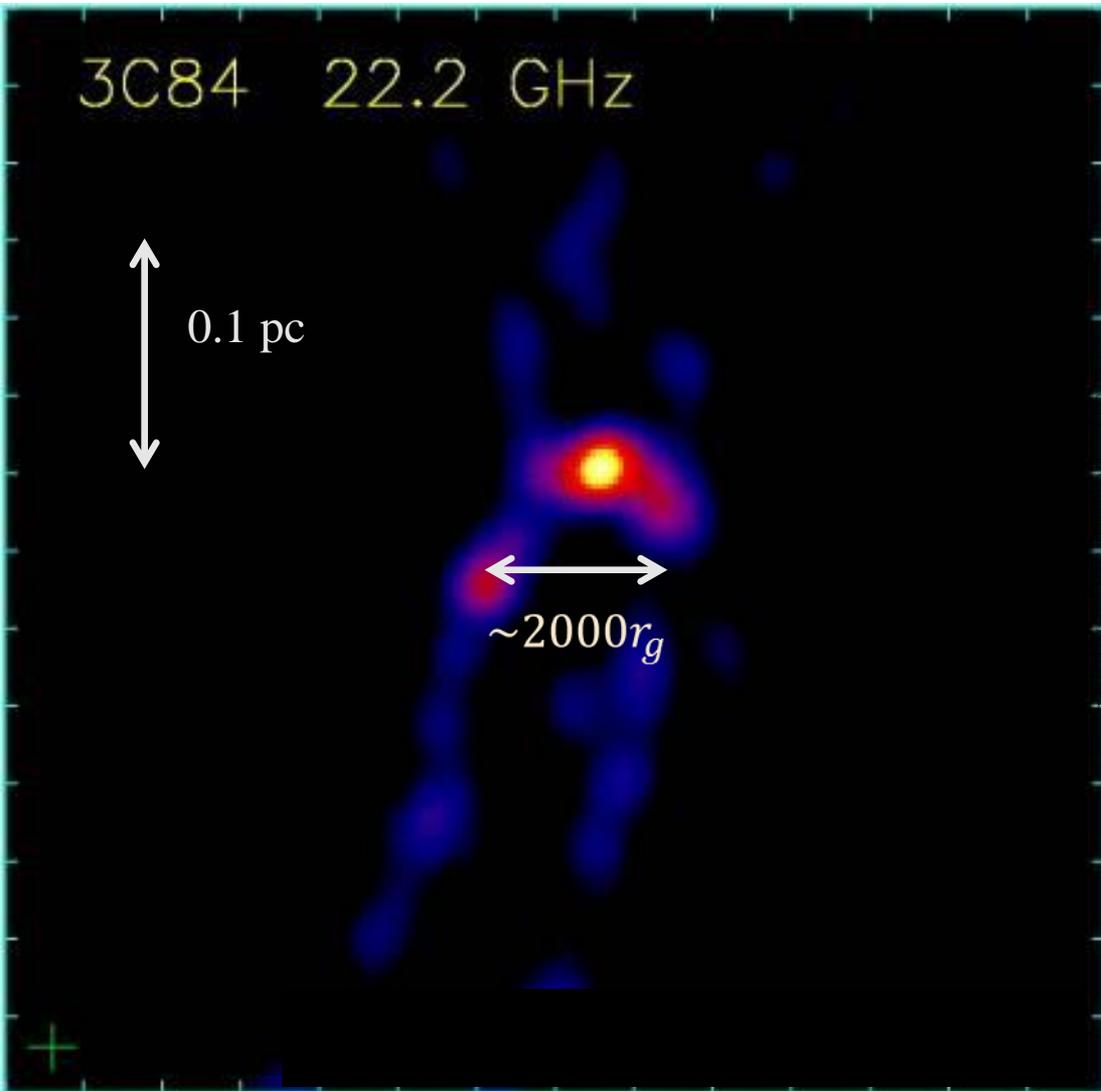
Явное уярчение к краю джета.
Ранее видели только для M87.
Статификация течения плазмы
более типична, чем мы
полагали?

Экстремально яркое пятно
вдали (один парсек) от
центральной машины. Ударная
волна как результат
взаимодействия с окружающей
средой?

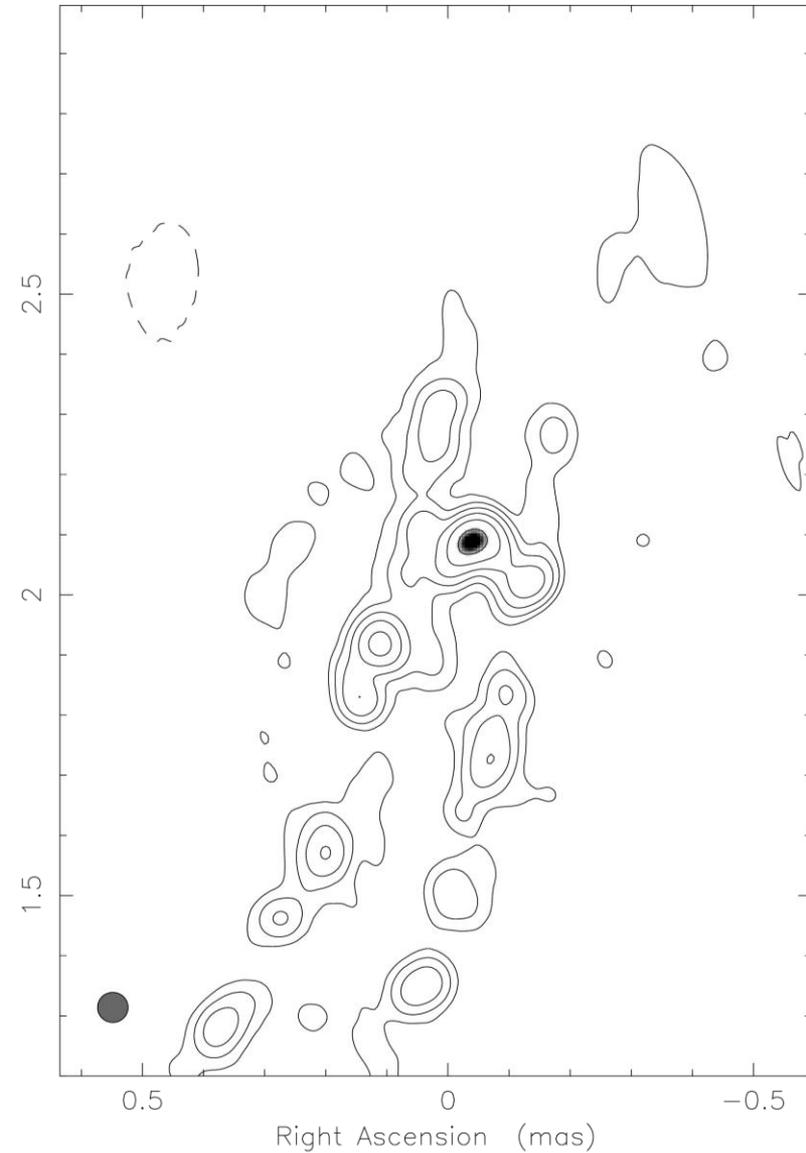
21-09-2013

Beam: 0.1 mas

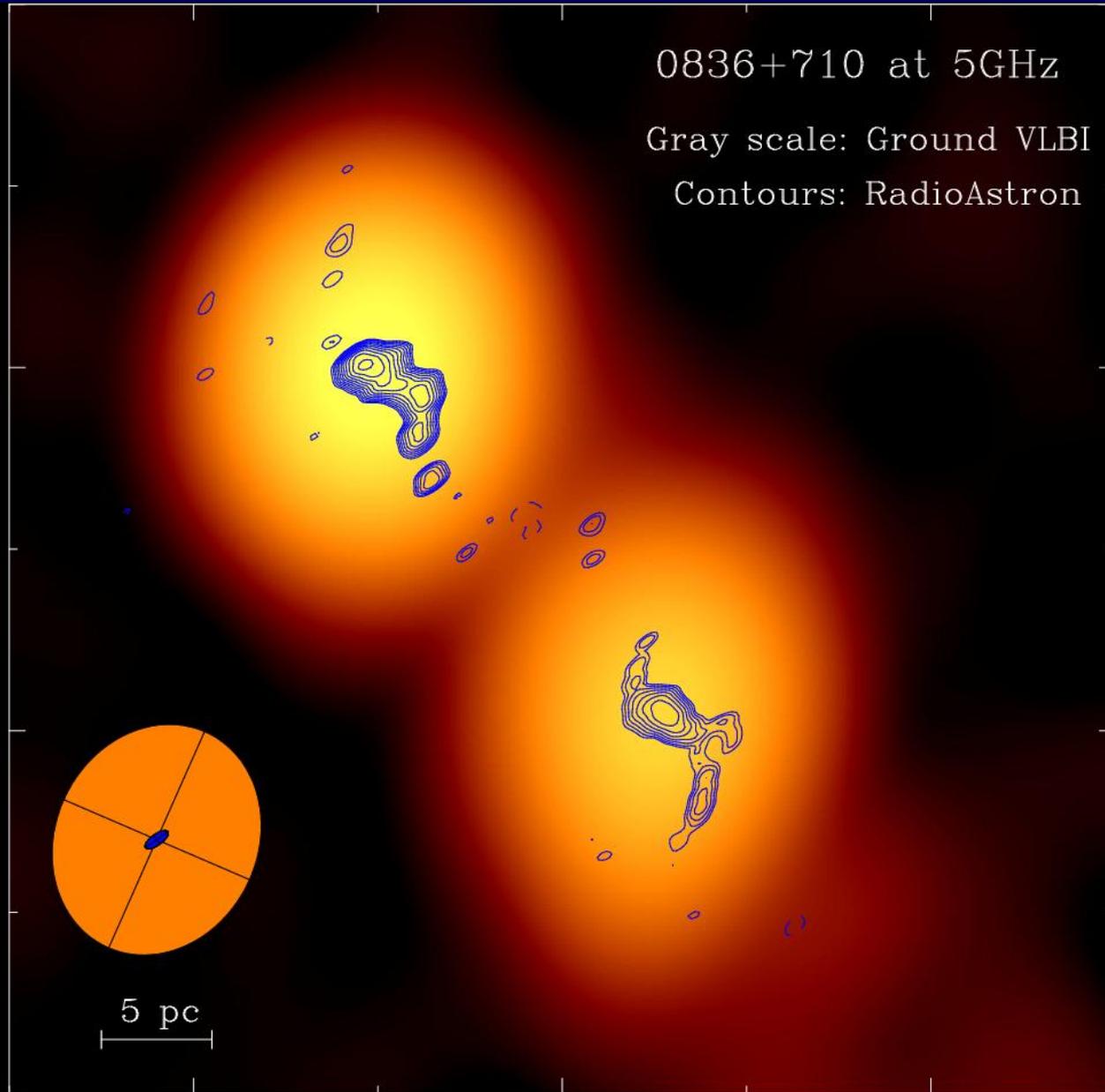
Старт джета в 3C84 ($D=75$ Мpc)



0316+413 at 22.236 GHz 2013 Sep 21

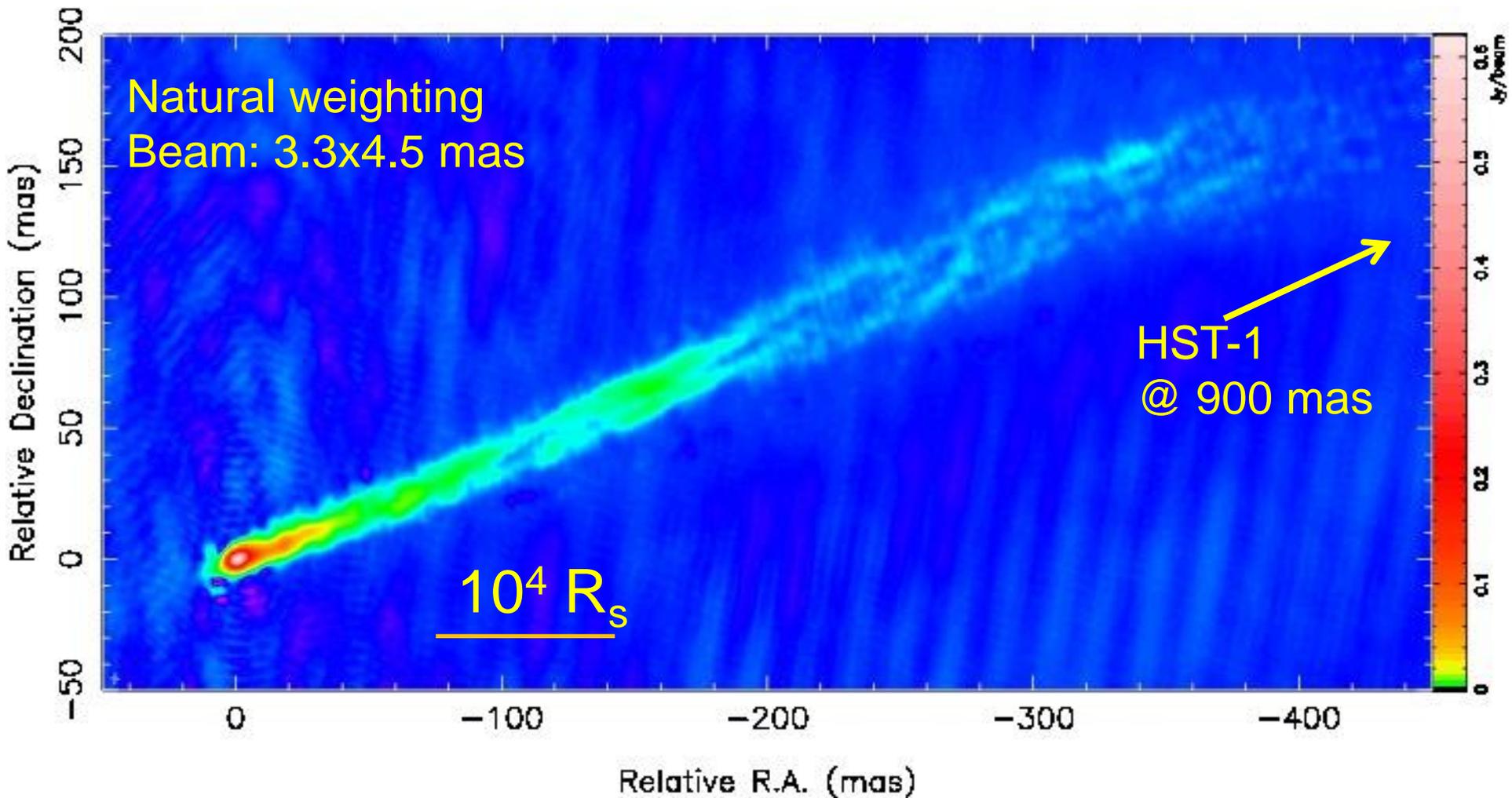


Внутренняя структура джета квазара

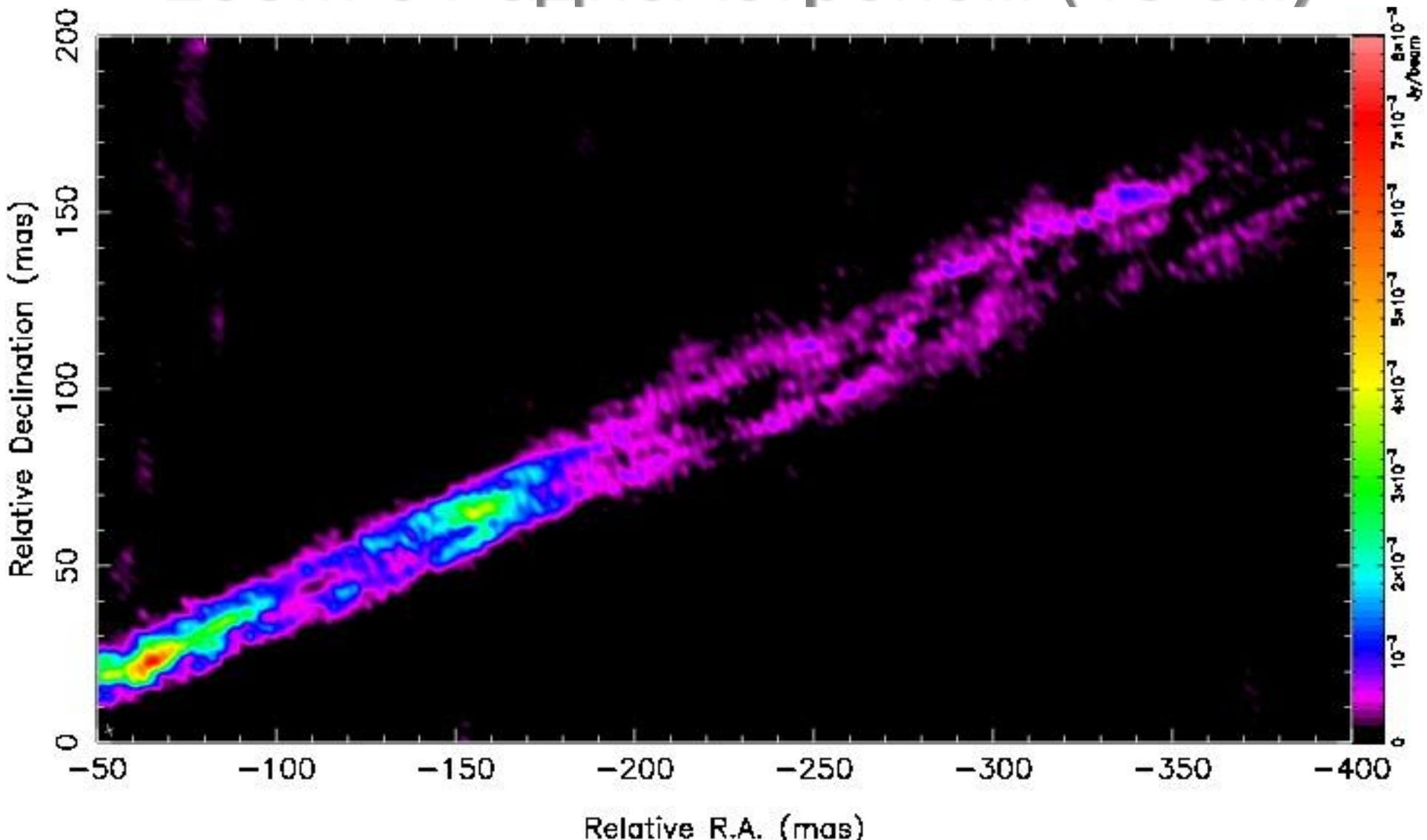


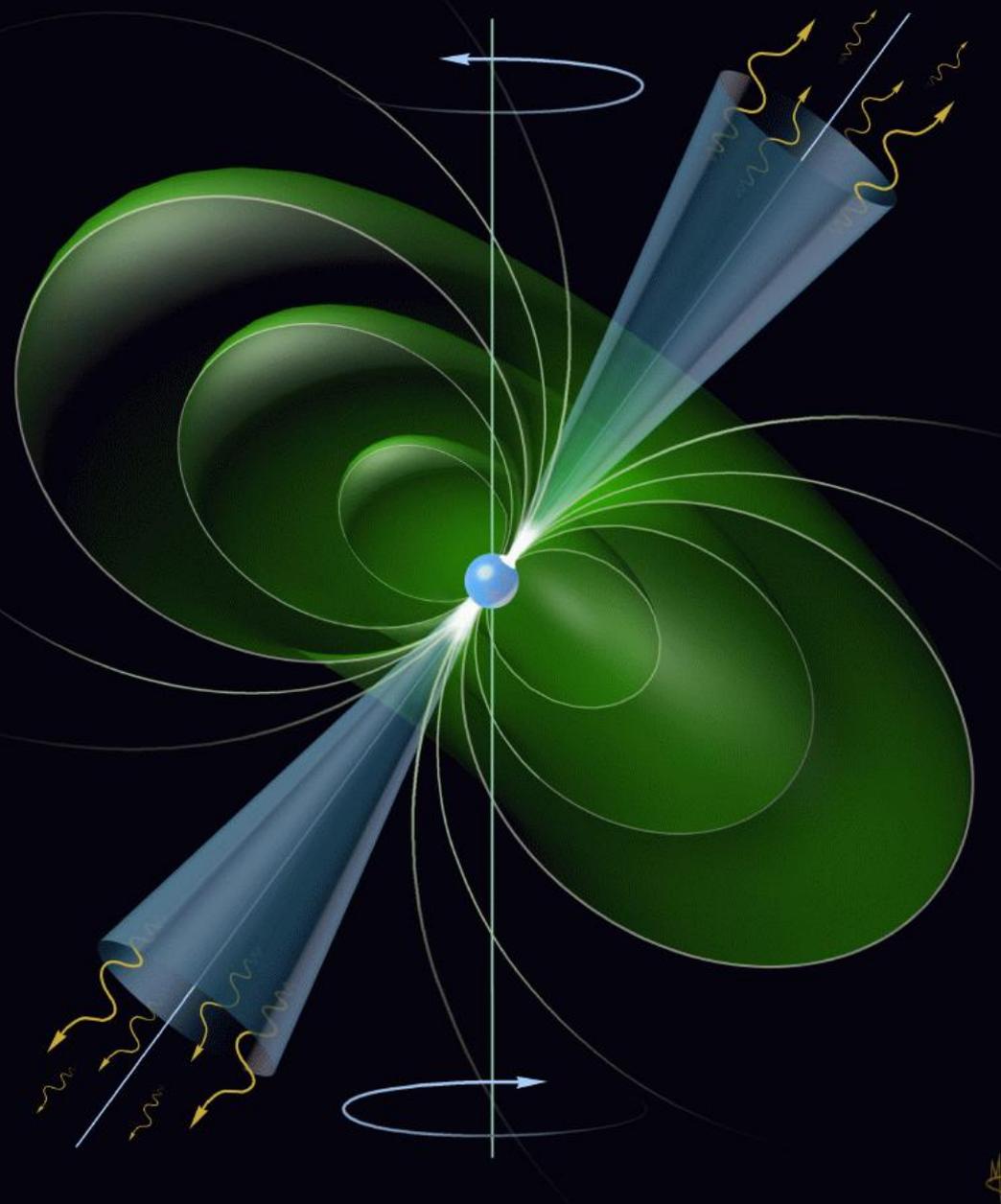
Джет в Деве А

18 см



Джет в Деве А zoom с РадиоАстроном (18 см)





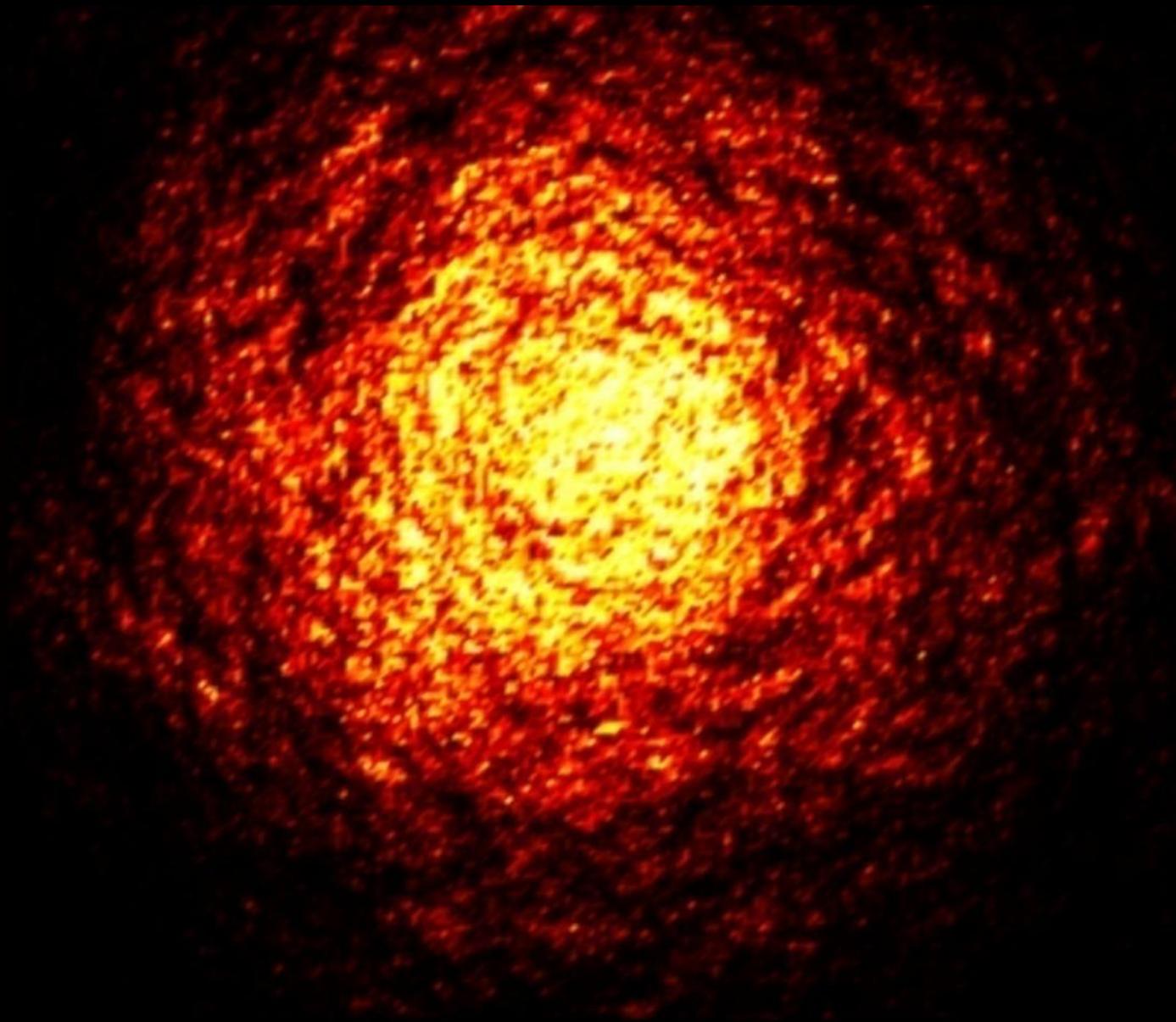
Пульсар

1. Лаборатория экстремальной физики.
 2. Прожектор, просвечивающий межзвездную среду.
 3. Самые точные часы.
 4. Проверка ОТО и гравитационная астрономия.
- Магнитное поле на поверхности:
 10^{12} Гс = 10^8 Тесла.
Плотность: 10^9 тонн/см³.

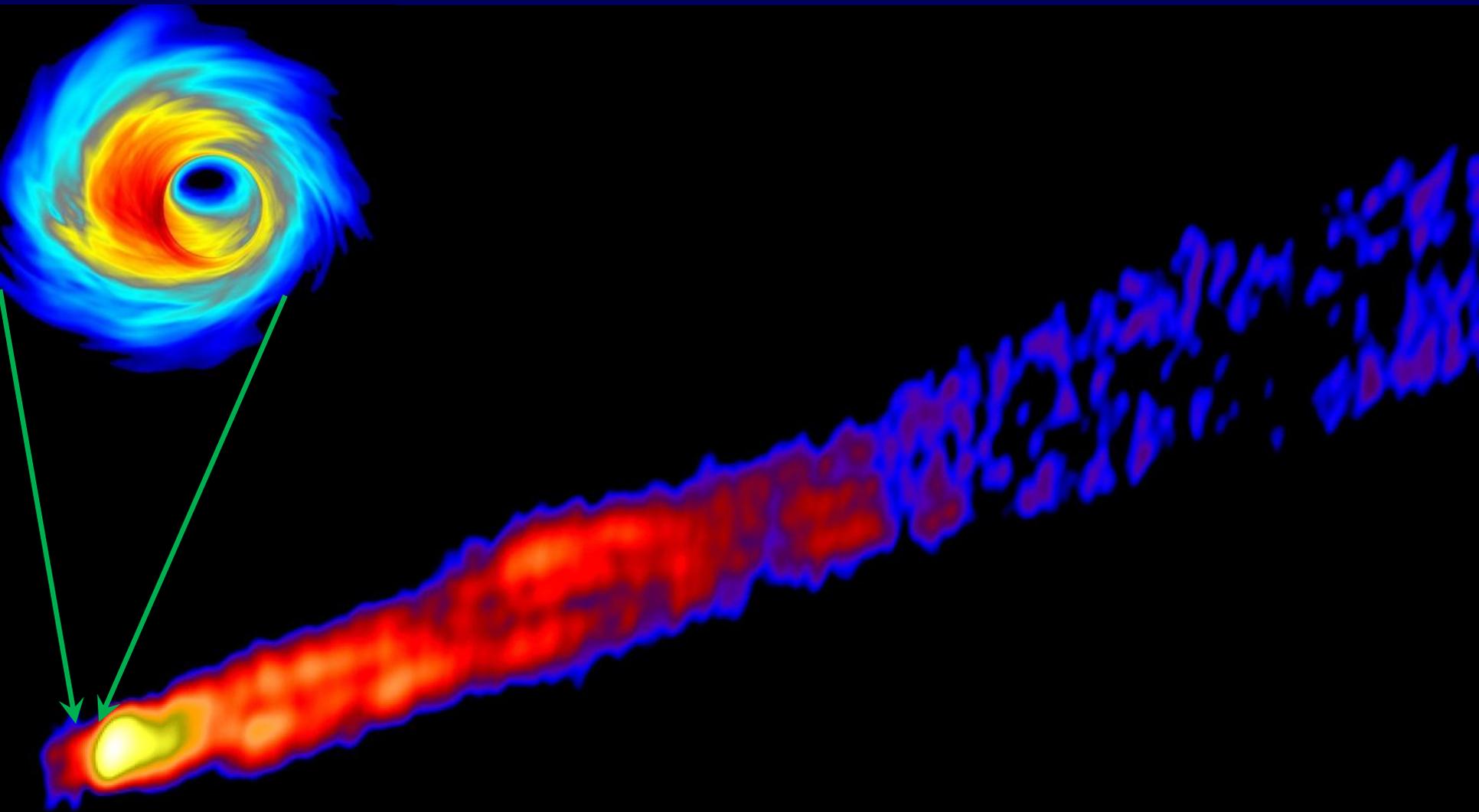
**Улица, фонарь, аптека... или
Галактика, пульсар, свободные электроны**

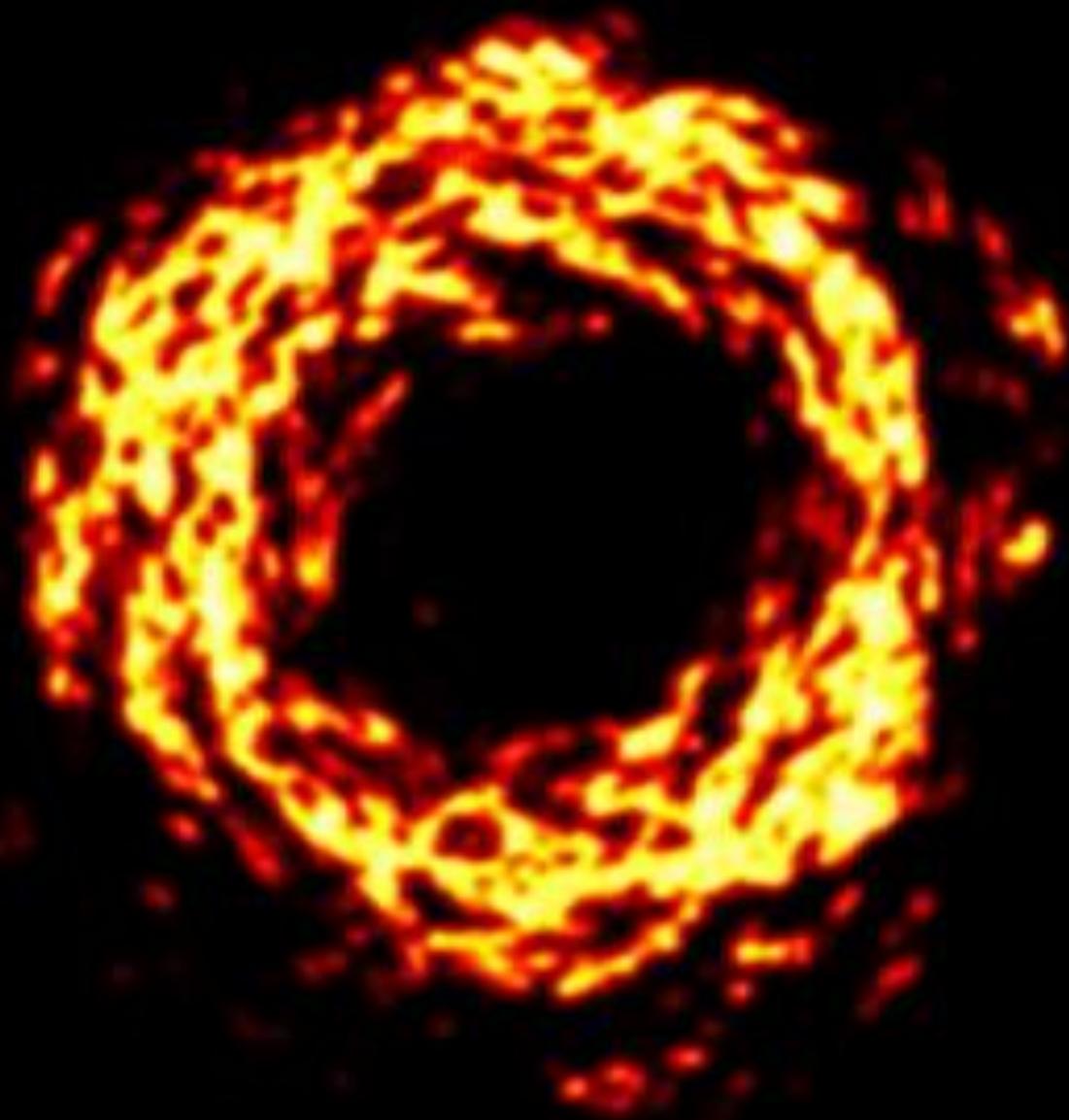


РадиоАстрон открыл новый эффект рассеяния



Сверхмассивные черные дыры в далеких галактиках. Или кротовые норы?

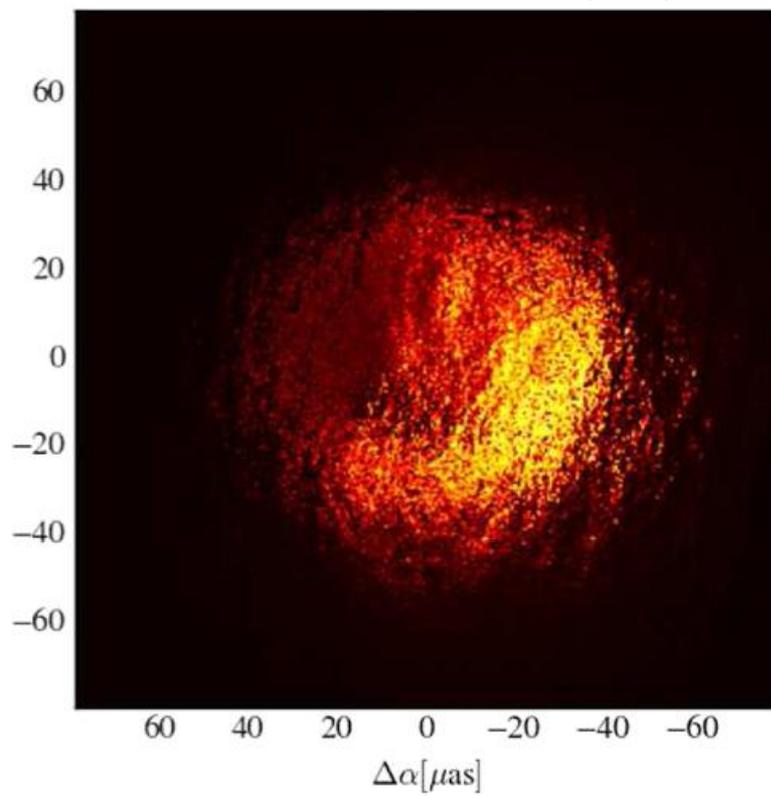
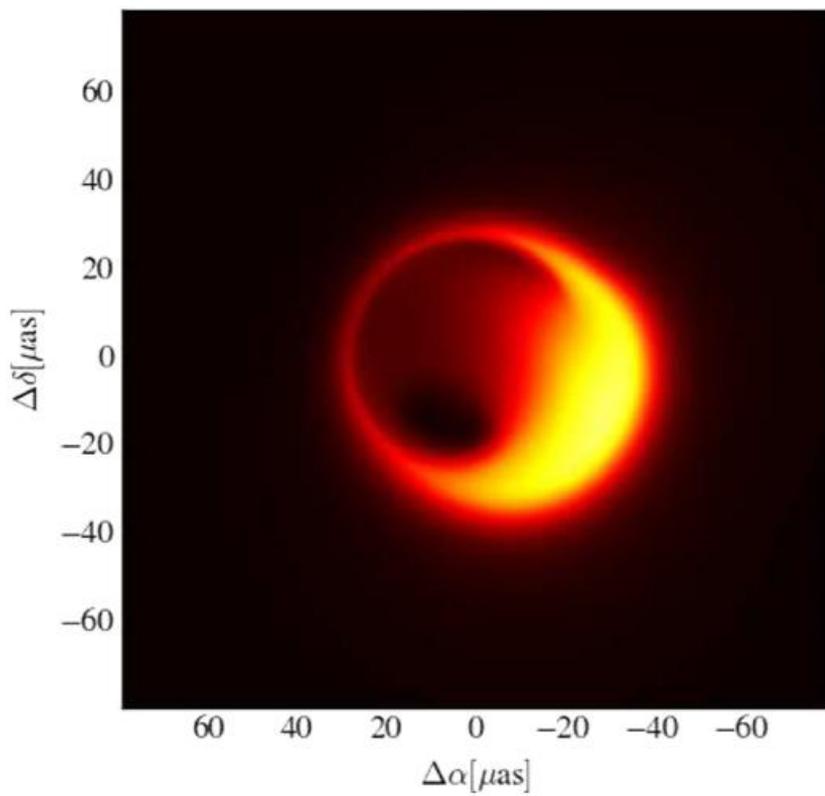
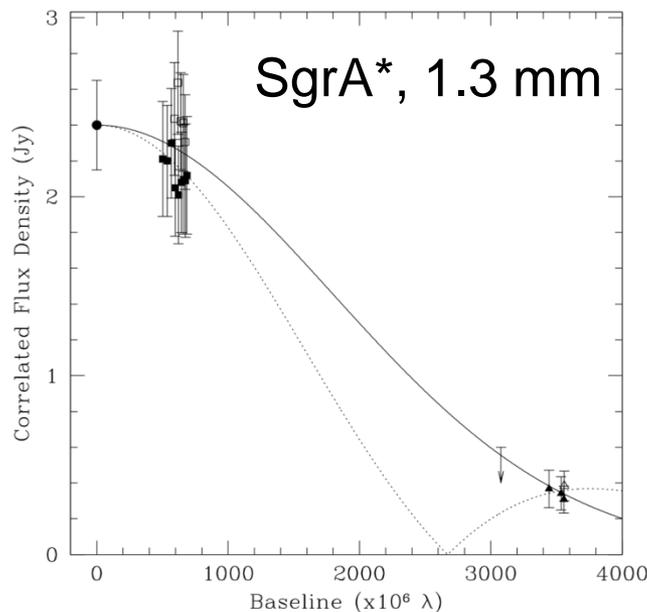




$0.0 T_{\text{ref}}$

Центр Галактики на 1.3 мм (наземное РСДБ)

- Тени ЧД пока не видно.
- Есть указания на ассиметричную структуру (Fish et al. 2016)
- Рассеяние надо учитывать.



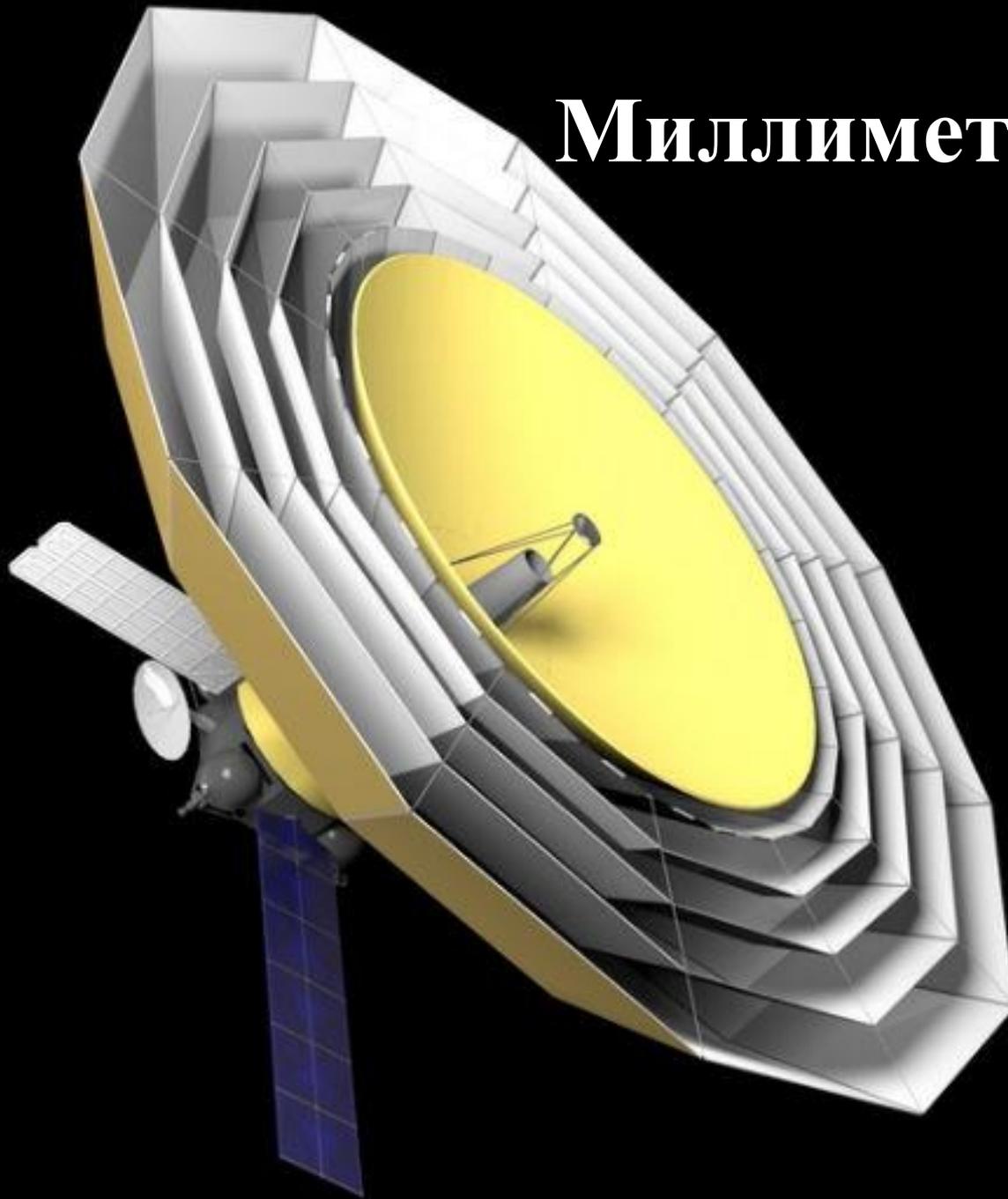
Brodierick et al. (2016)

The Event Horizon Telescope



1.3 mm

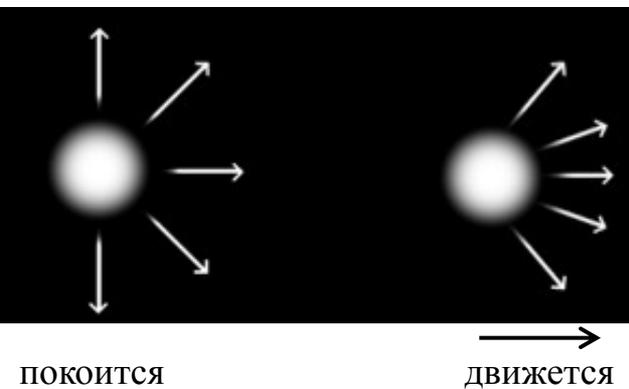
Миллиметронтрон



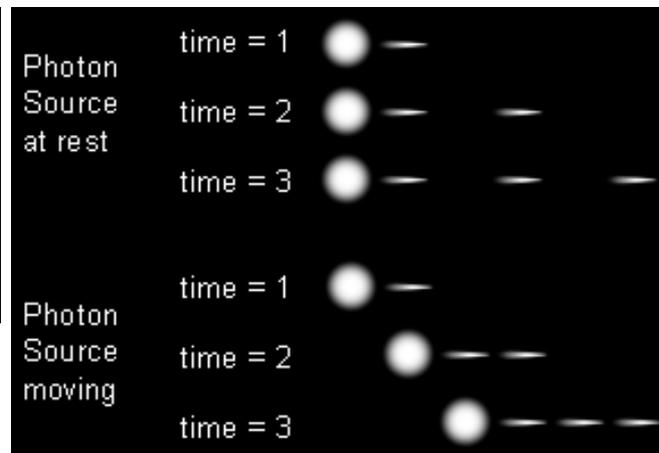


Почему квазары такие яркие? Почему джеты часто односторонние? и еще немного про безумства природы...

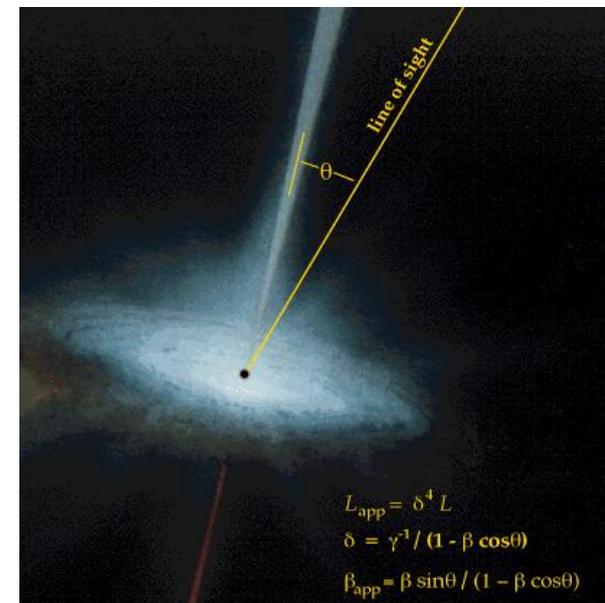
Релятивистская
абберация



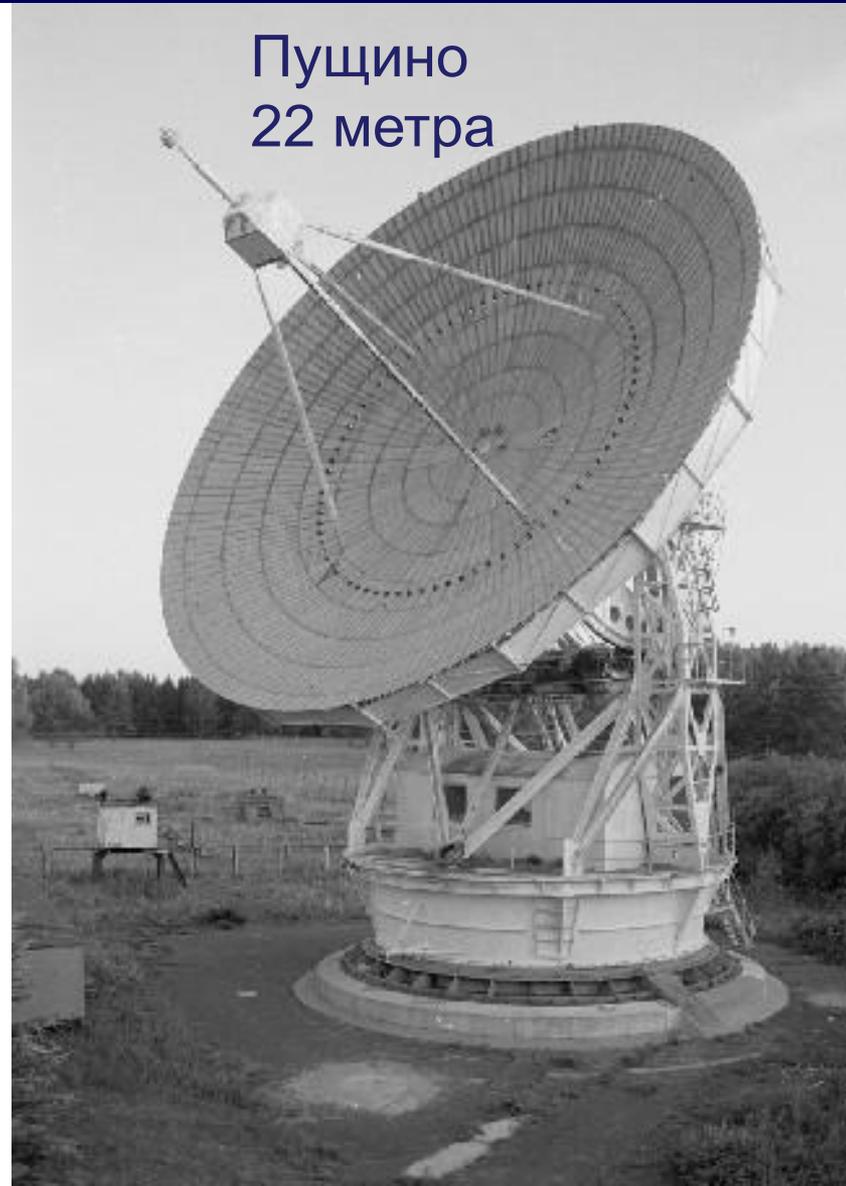
Релятивистское
сокращение
времени



Кажущаяся
скорость
движения больше
скорости света



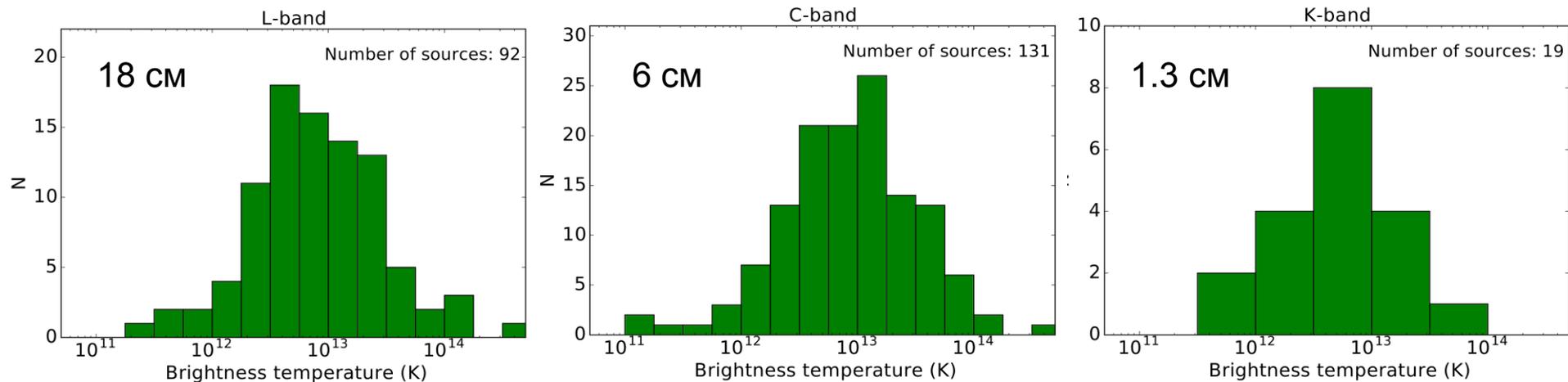
Станции слежения и сбора научной информации: РФ и США



Обзор ядер активных галактик

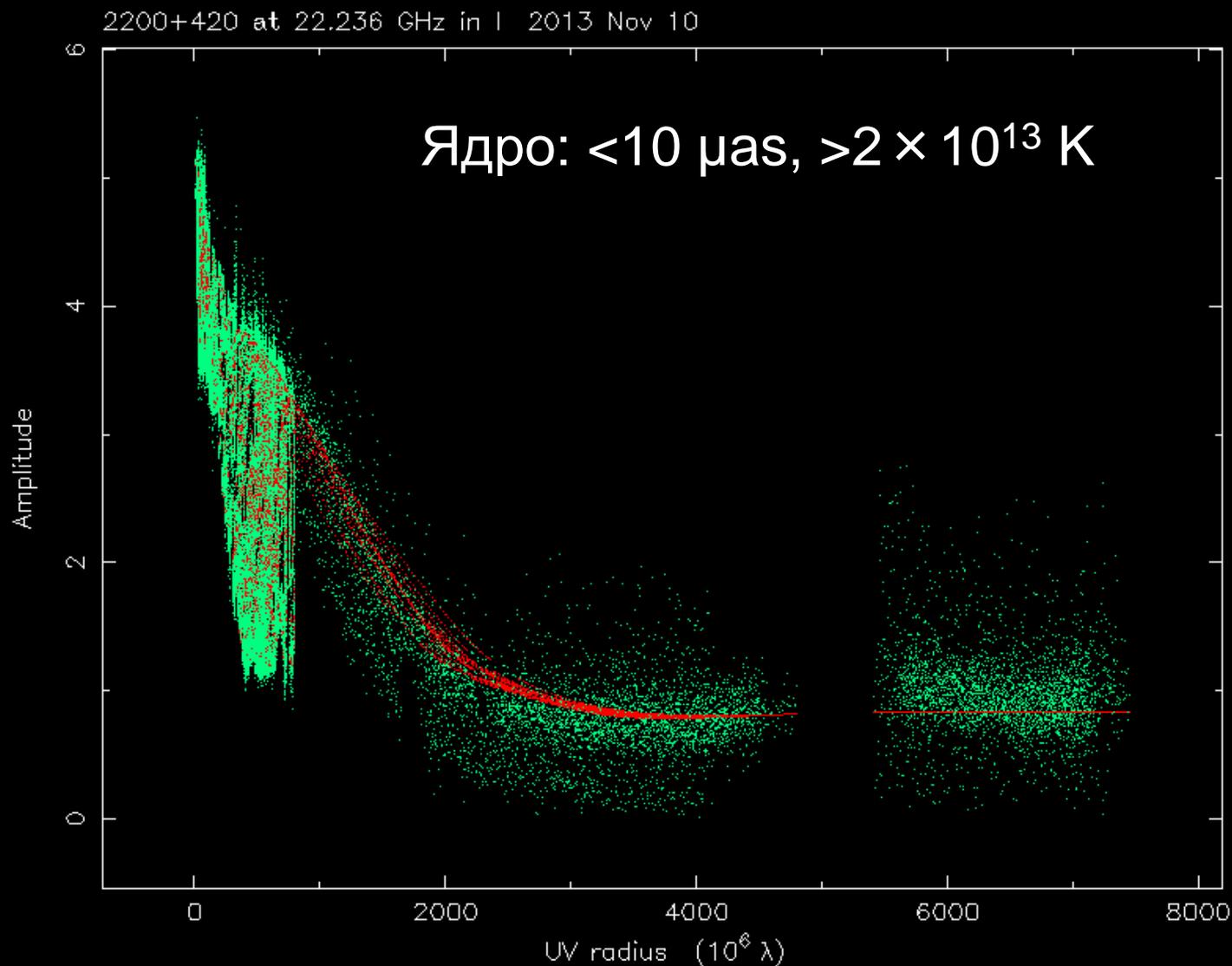
*уникальная проверка механизма генерации излучения
экстремальной яркости*

Рекорд углового разрешения: 14 μ as (1.3 см, 15 диаметров Земли).
Прокоррелировано и проанализировано 2507 экспериментов,
значимый интерференционный отклик найден от 164 активных
галактик в 843 сессиях. Измерена типичная яркость: от 10^{13} до
более 10^{14} К, что на порядок выше ранее известных значений
и требует пересмотра нашего понимания механизма
(усиления) излучения / ускорения джетов квазаров.

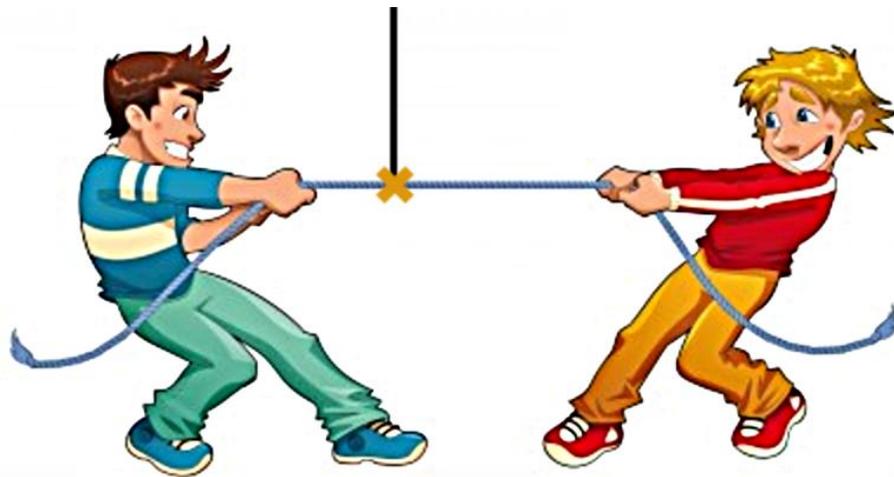
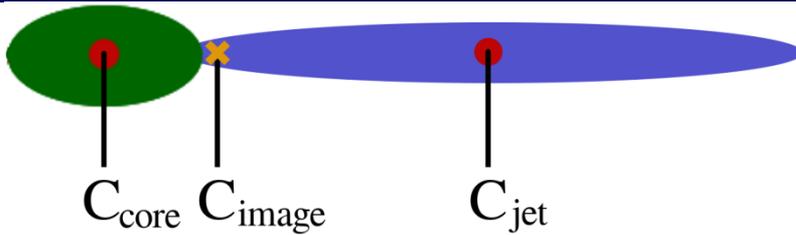


Откуда приходит экстремальная яркость?

Используем картографирование (Gomez et al., ApJ, 2016)

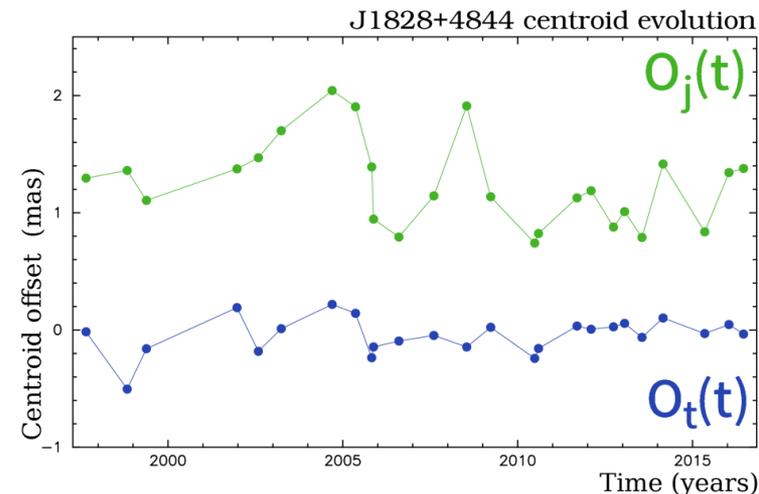
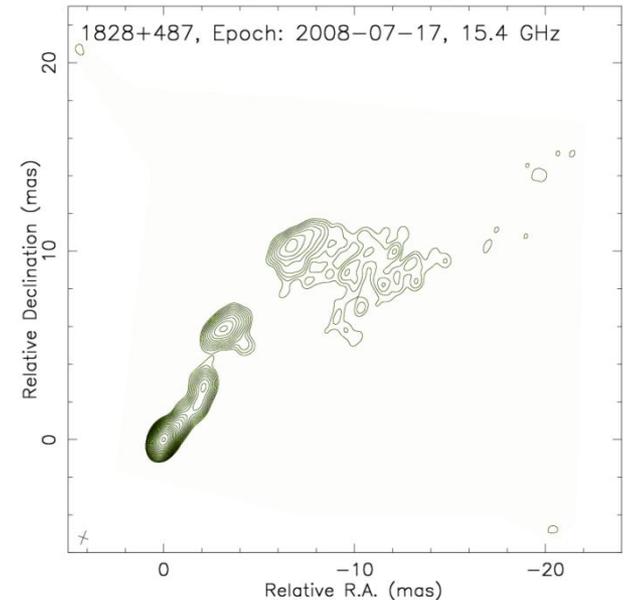


Переменность оптического центроида



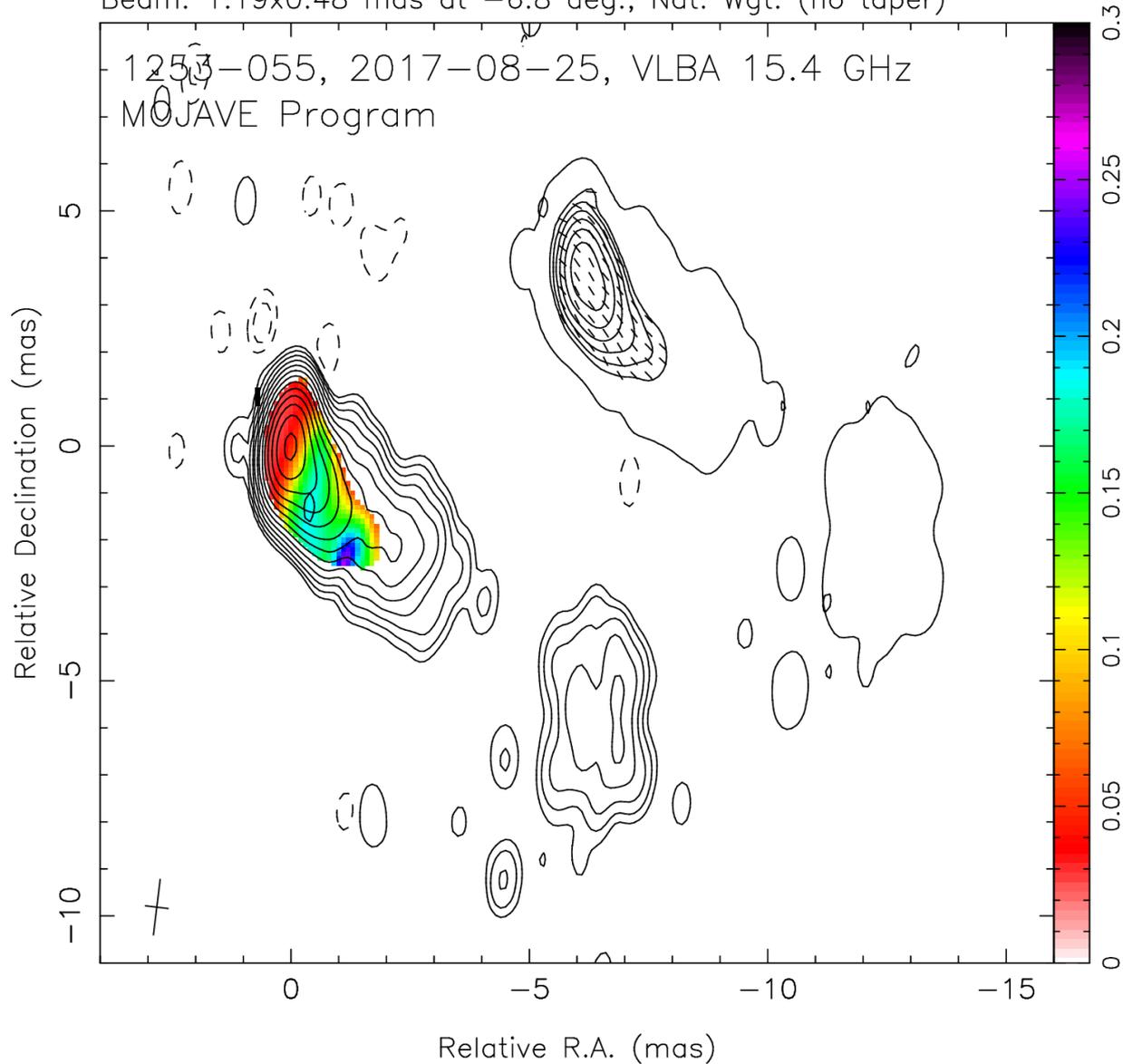
Как переменность ядра, так и наблюдаемые изменения джета влияют на координаты центроида. Похоже, что доминирующее влияние оказывается у сильно переменного ядра.

Поиграем с радио:



Линейная поляризация квазаров

$I_{\text{peak}} = 9576.0$, $P_{\text{peak}} = 583.5$, $I \text{ RMS} = 0.30$, $P \text{ RMS} = 0.60$
 $I_{\text{base}} = 2.00$, $P_{\text{base}} = 10.00$ (mJy/beam), steps: x 2
Beam: 1.19×0.48 mas at -6.8 deg., Nat. Wgt. (no taper)



Обработка результатов обзора

Странные результаты 3C279 и не только

18 см, 13 диаметров Земли, RadioAstron–Effelsberg:

Полный коррелированный поток: $\text{SNR} = 7$.

Линейно поляризованный поток: $\text{SNR} = 11.5$.

Ошибка?

Нет! Проверка данных по наземным корреляциям подтвердила, что путаницы в поляризациях нет и результаты значимы.

Дальнейший анализ показал аналогичные результаты и на 6 см, например, для 16 диаметров Земли:

Полный корр поток: $\text{SNR} = 8$.

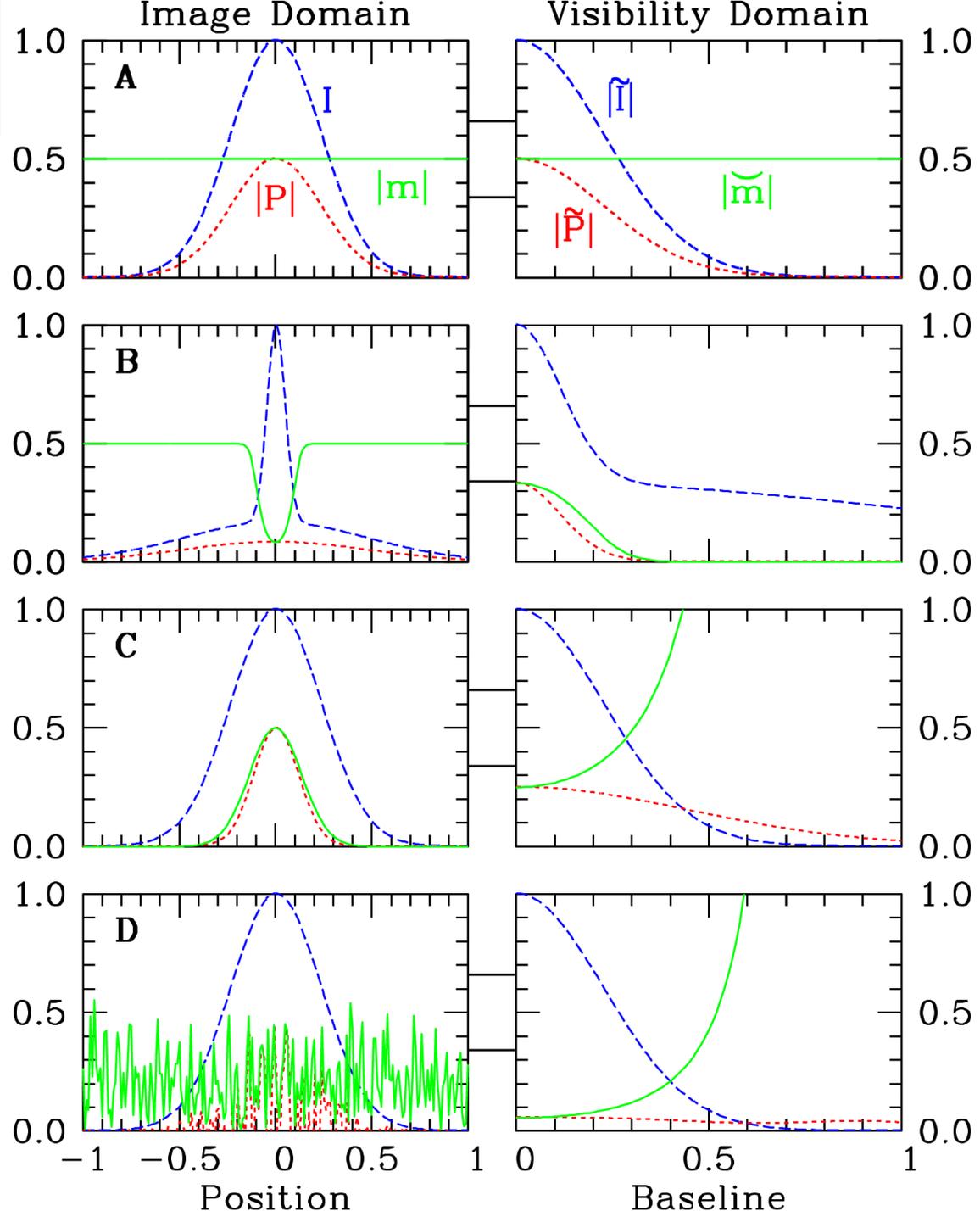
Линейно-пол корр поток: $\text{SNR} = 9$.

Более того, для целого ряда компактных квазаров этот эффект обнаружен для больших проекций наземно-космической базы интерферометра.

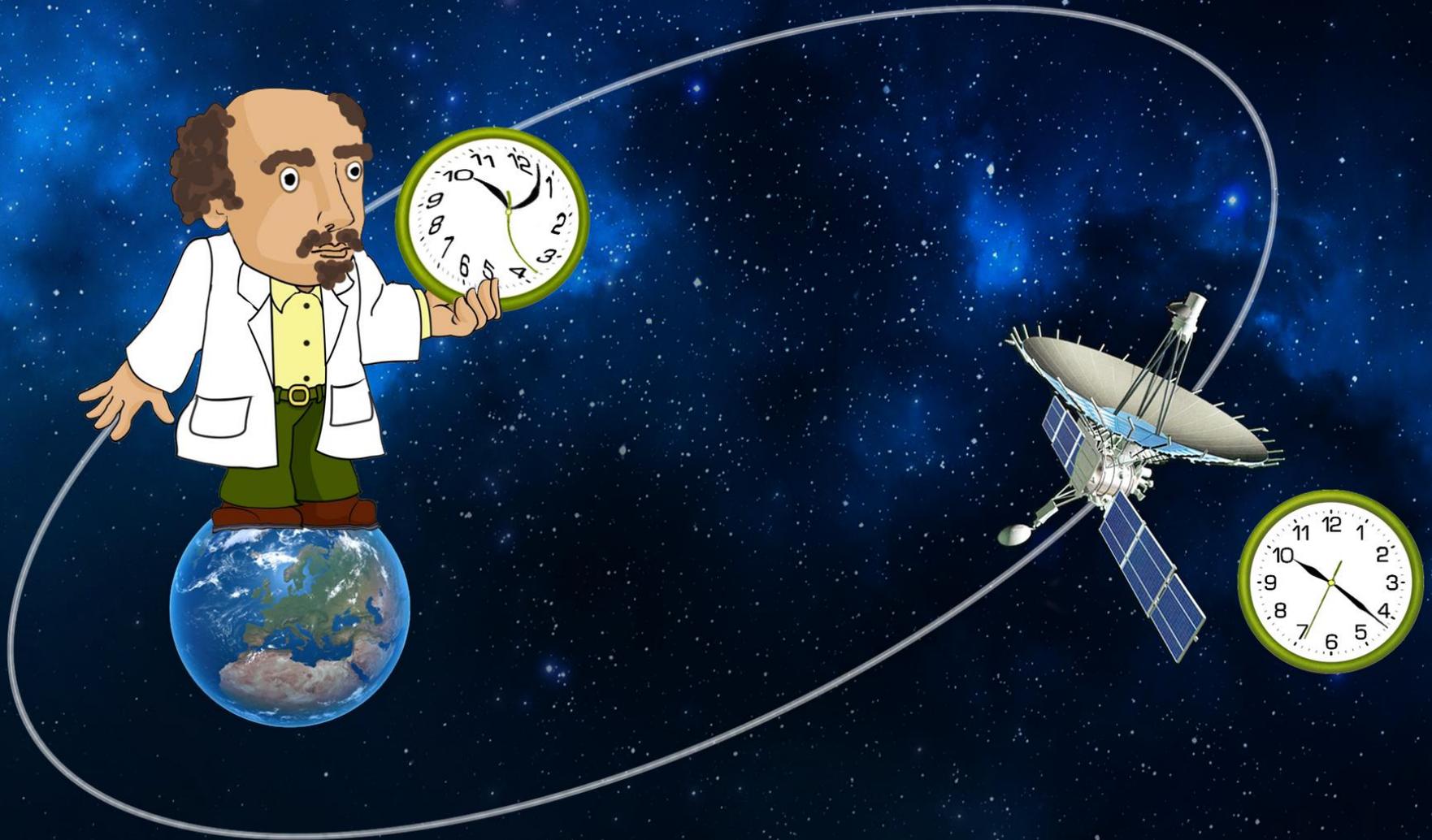
Моделируем

Рассмотрены четыре типичных случая связи между полным и поляризованным потоком наблюдаемого источника.

Слева: изображение, справа: преобразование Фурье (что видит интерферометр).



Проверка Общей теории относительности Эйнштейна



Обрабатываем на своем кластере, храним уже более 2 ПБ данных



Точность восстановления орбиты

