

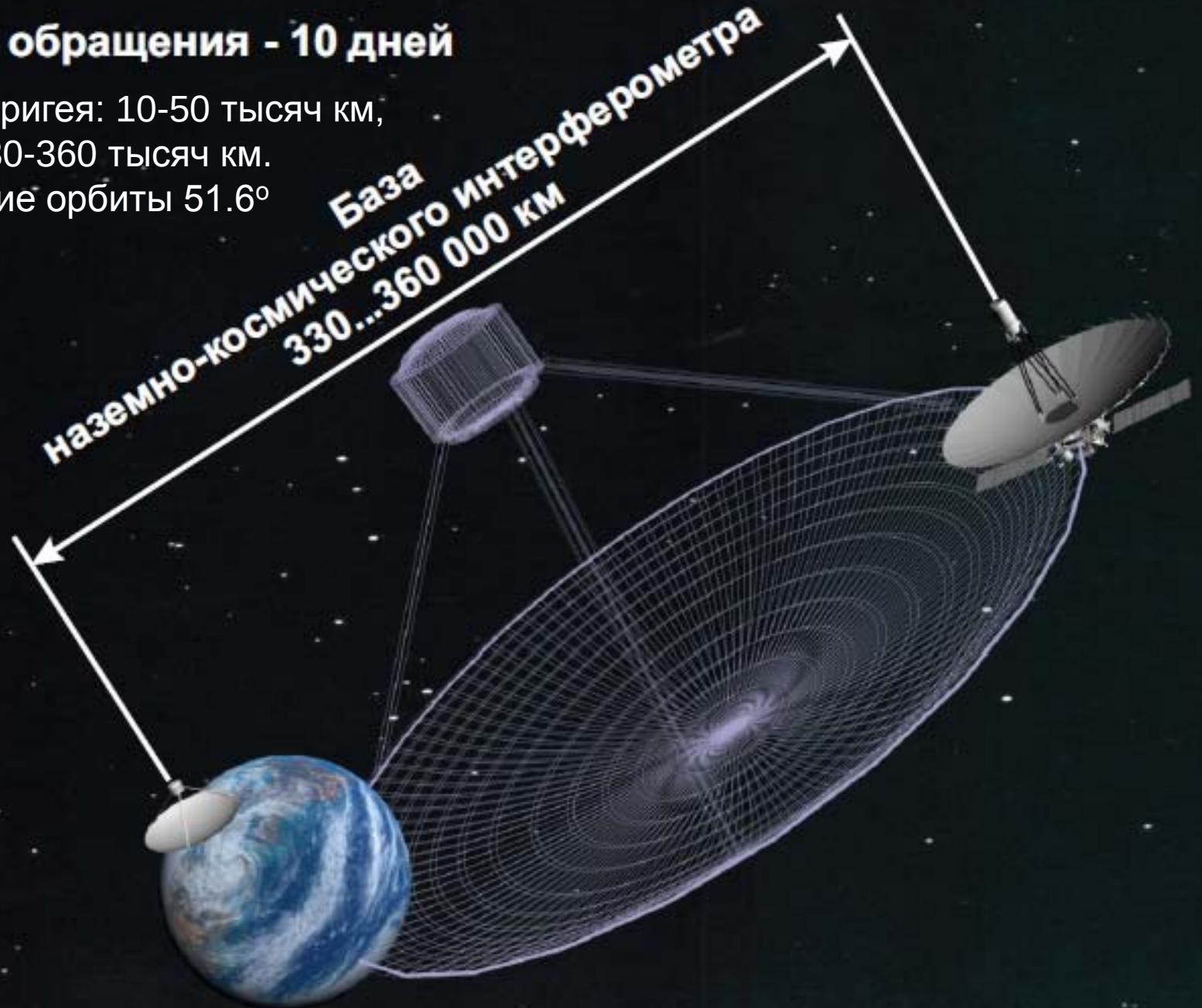
Результаты проекта РадиоАстрон

Ю.Ю. Ковалев *от группы РадиоАстрон в АКЦ ФИАН*

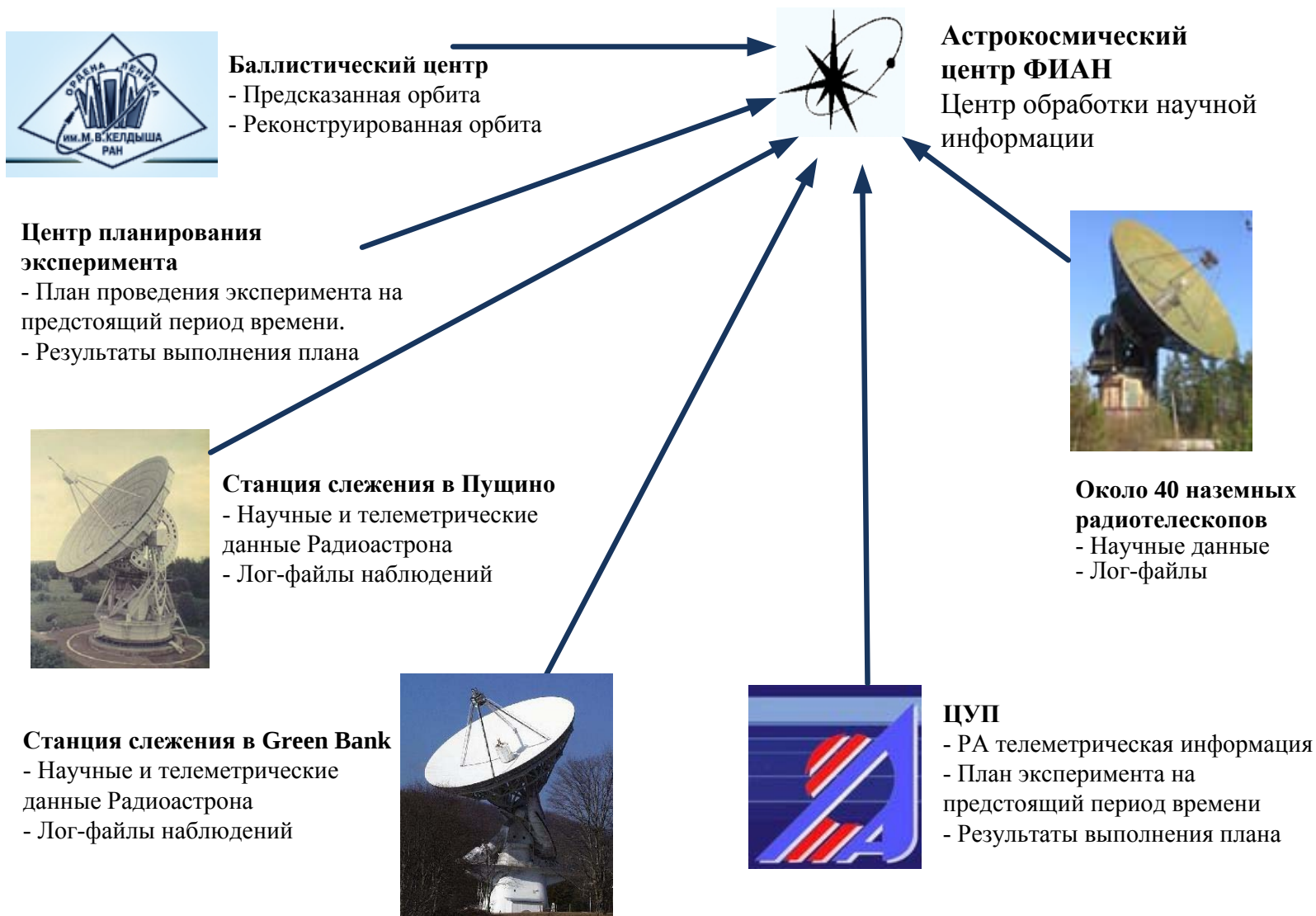


Период обращения - 10 дней

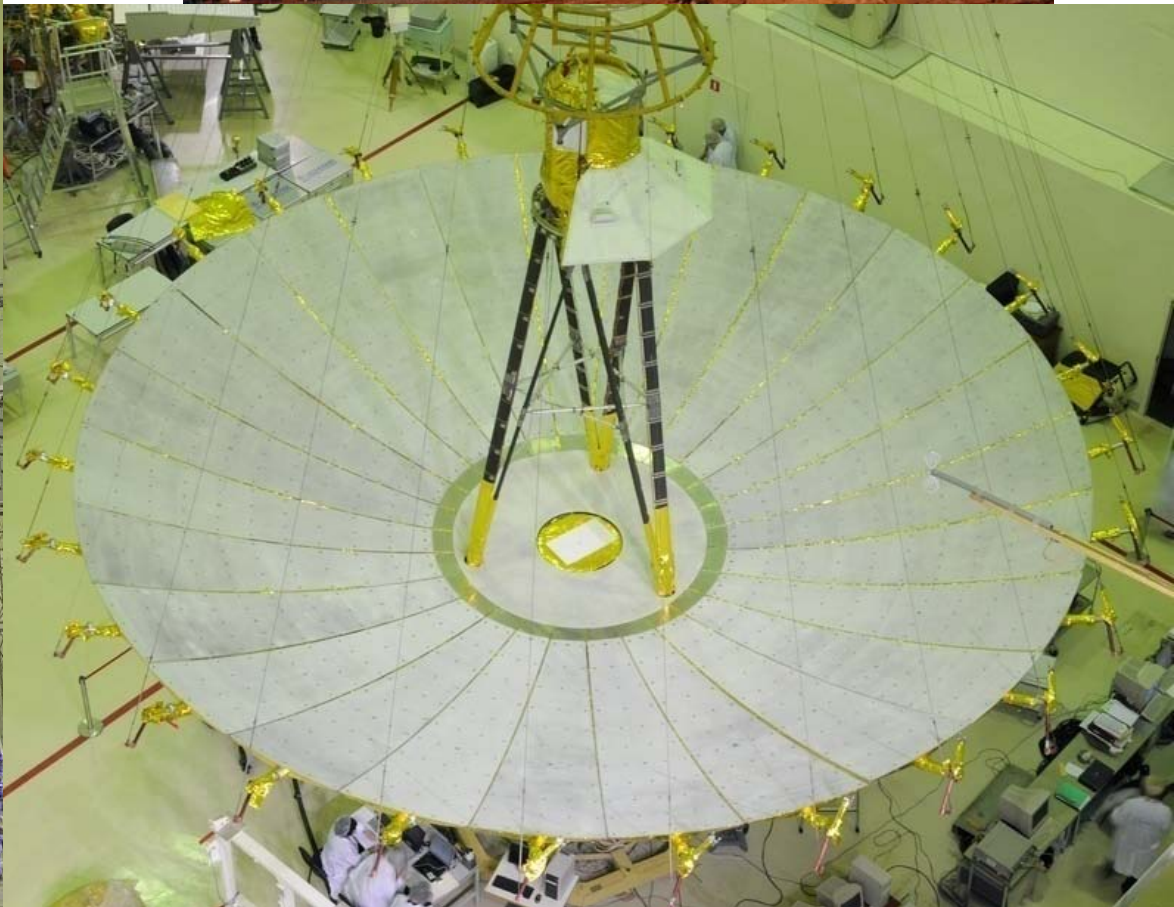
Радиус перигея: 10-50 тысяч км,
апогея: 330-360 тысяч км.
Наклонение орбиты 51.6°



Компоненты системы на примере процесса сбора данных



Успешно запущен в 2011 г.



Станции слежения и сбора научной информации: РФ и США



Наземное РСДБ плечо: более 30 телескопов

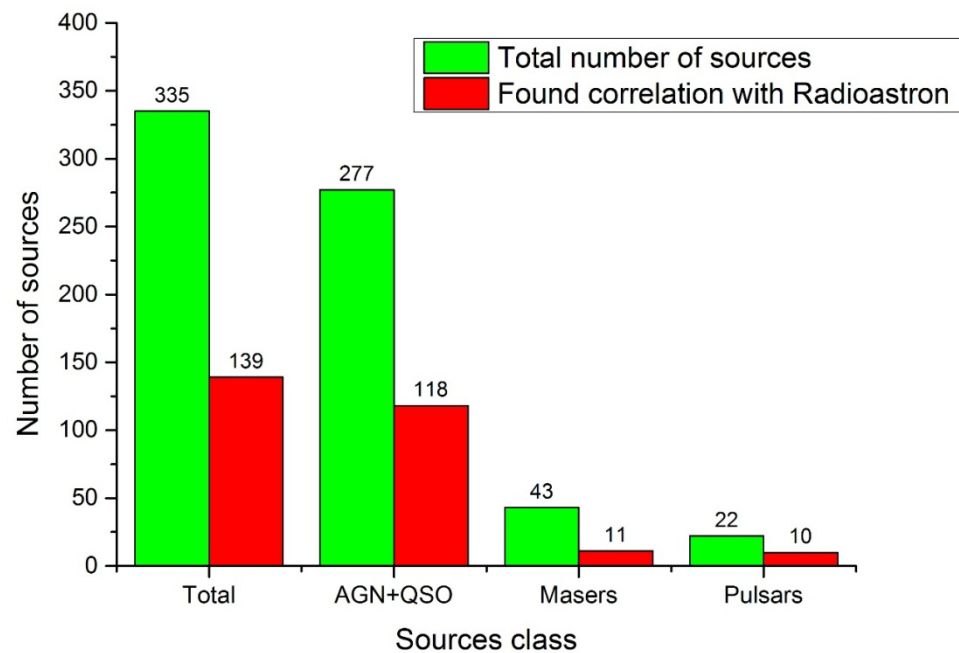
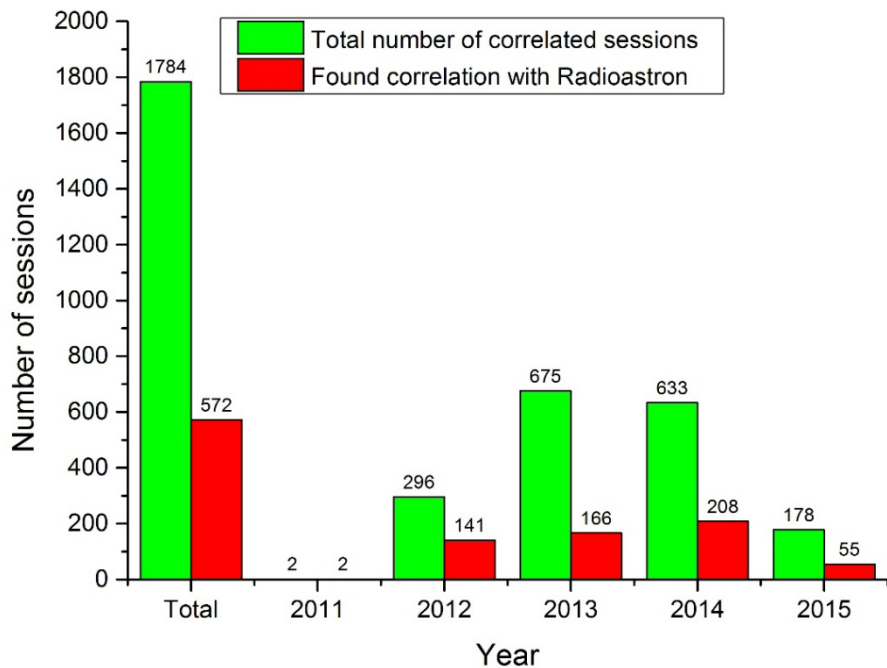
Российская сеть Квazar, Евпатория, Калязин, Effelsberg, Medicina, Yebes, WSRT, GBT, Arecibo, VLA, Usuda, EVN, VLBA, и др. Полная поддержка.



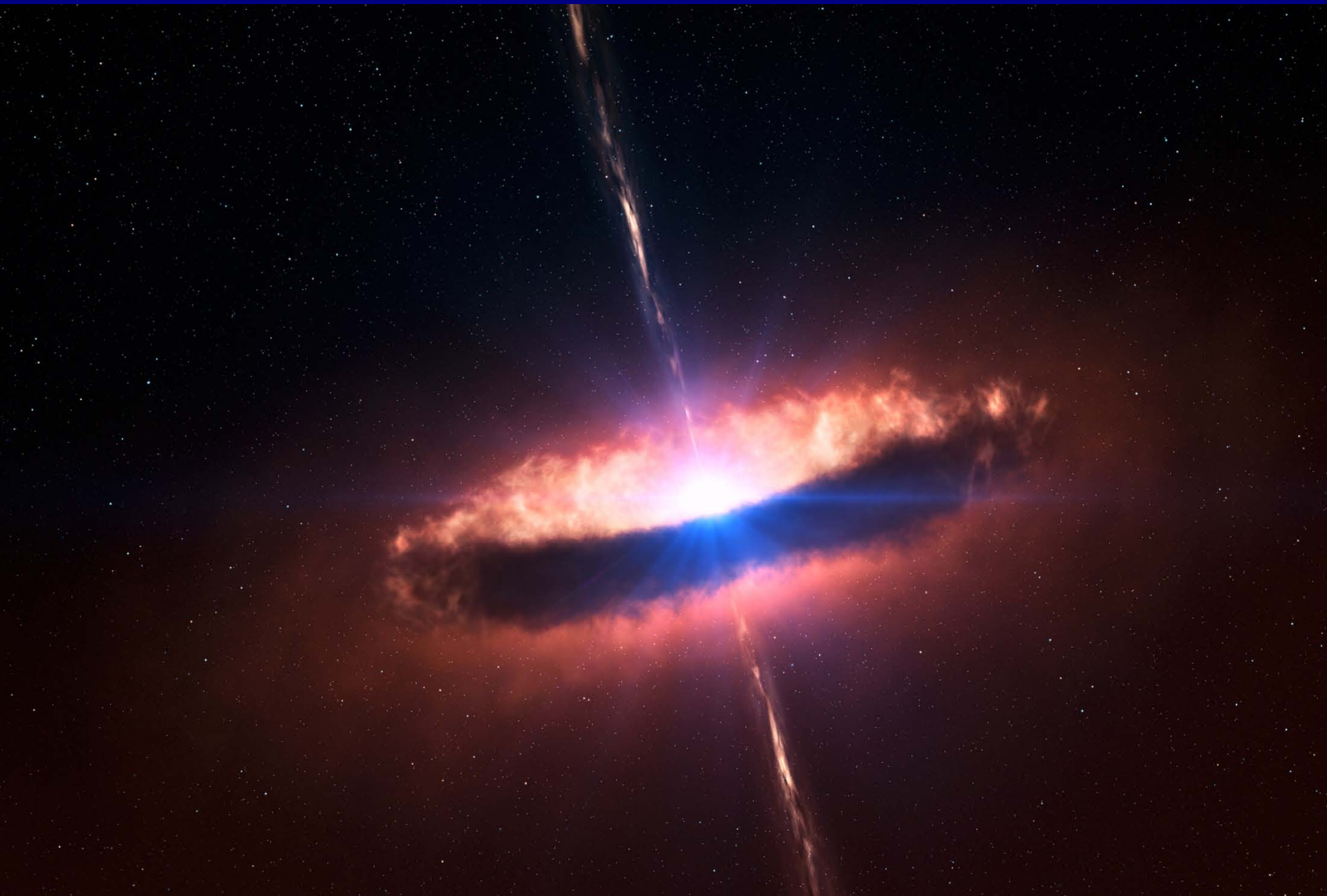
Кусочек специализированного кластера АКЦ ФИАН



Статистика проведенных и прокоррелированных экспериментов



Квазары



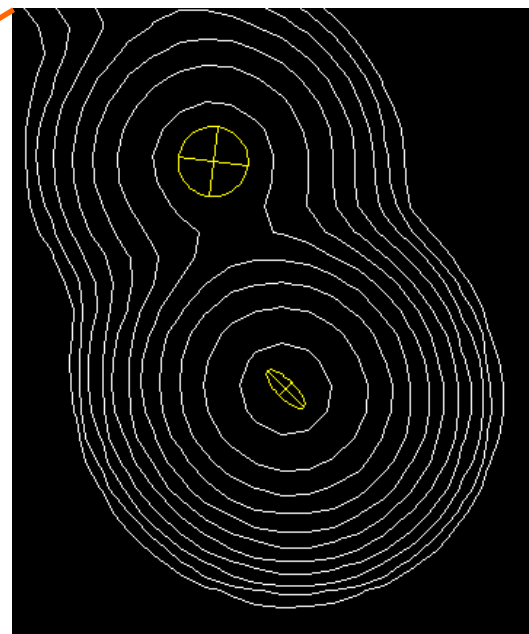
RadioAstron—EVN: 0716+714, 6 cm

Радиоизображение
Квазар 0716+714
расстояние: 1.6 Гпк.

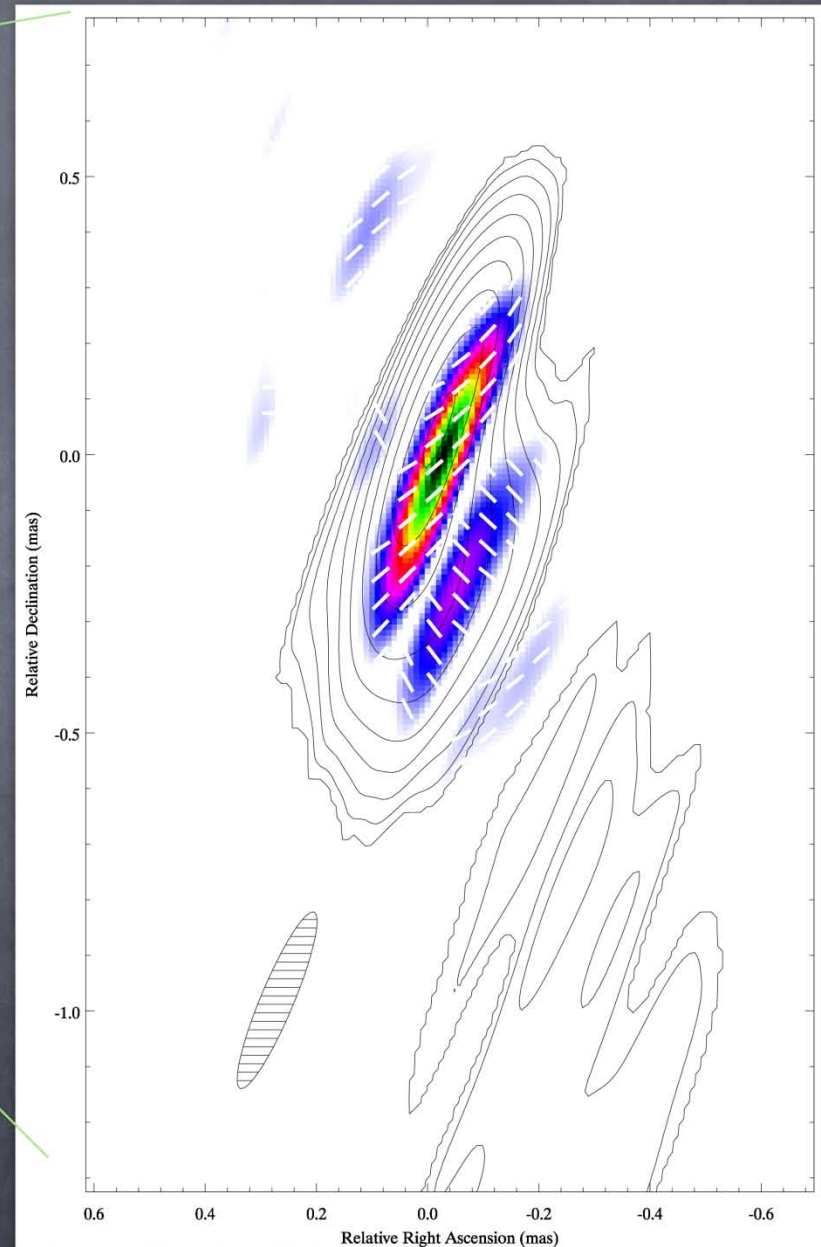
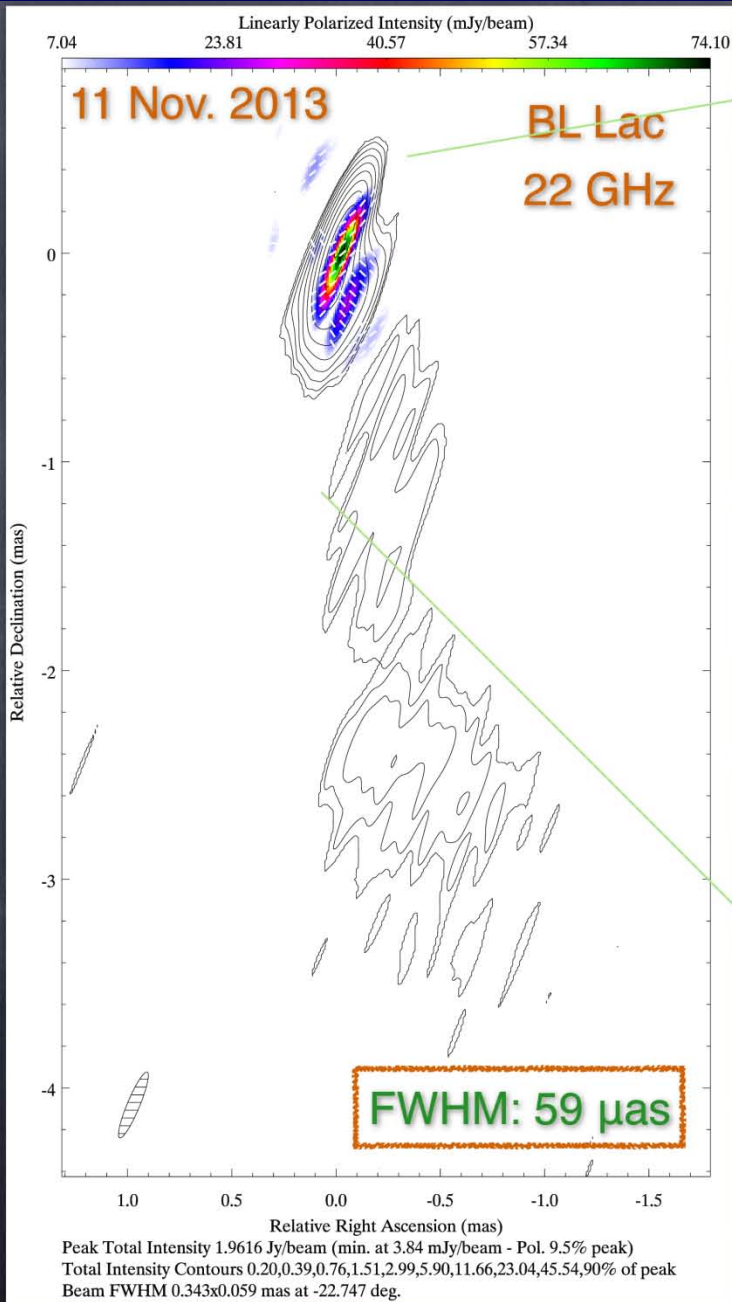
Ширина сопла струи:
1 световой год

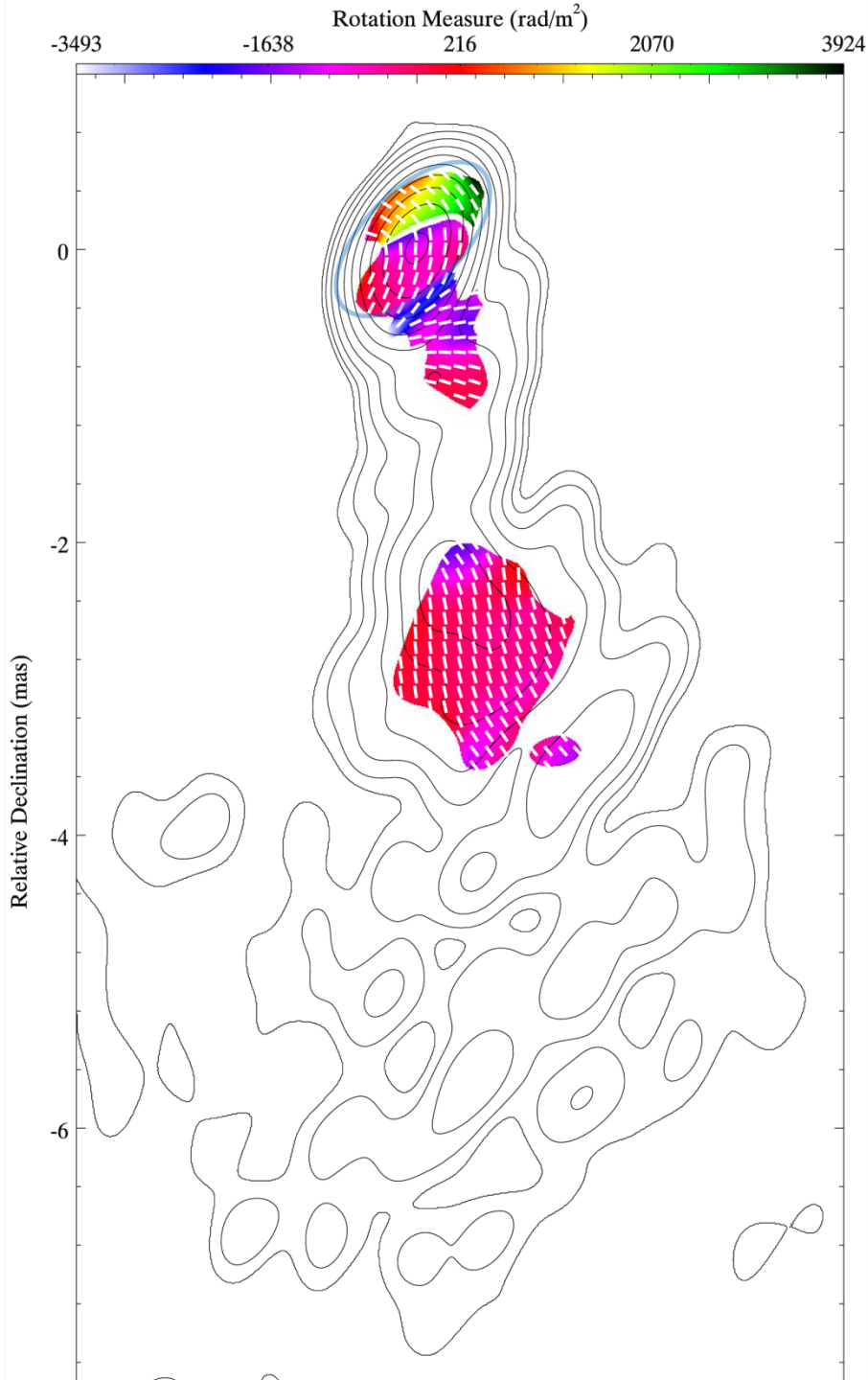
5 parsec
|————|

2012-03-14



BL Lacertae: SVLBI поляризация

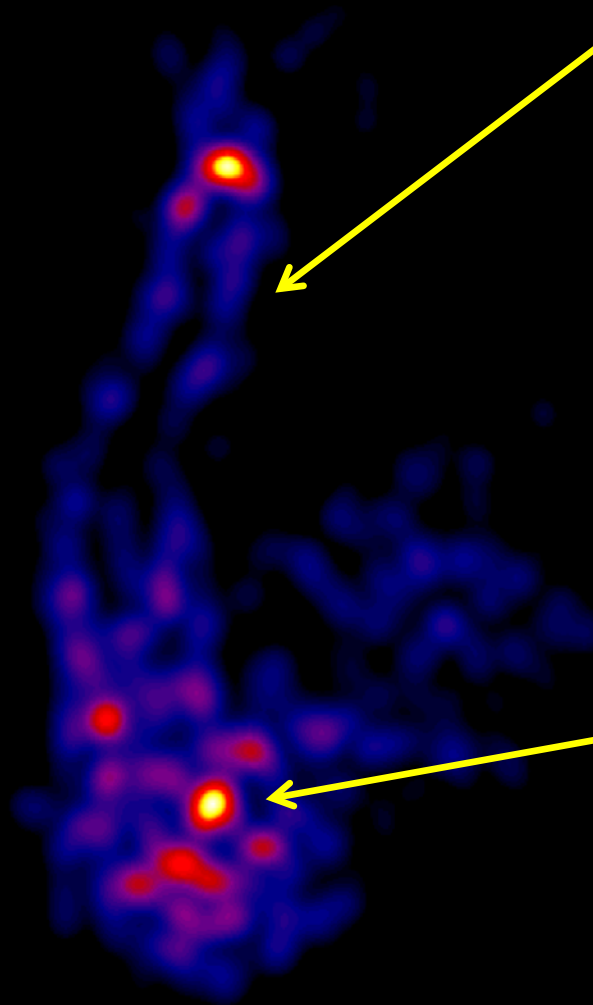




BL Lacertae: Фарадеевское вращение

Обнаружен градиент
Фарадеевского вращения в
области близкой к
центральной машине. Вид его
распределения очень хорошо
согласуется с RMHD
моделированием джета в
спиральном магнитном поле.

3C84 22.2 GHz



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

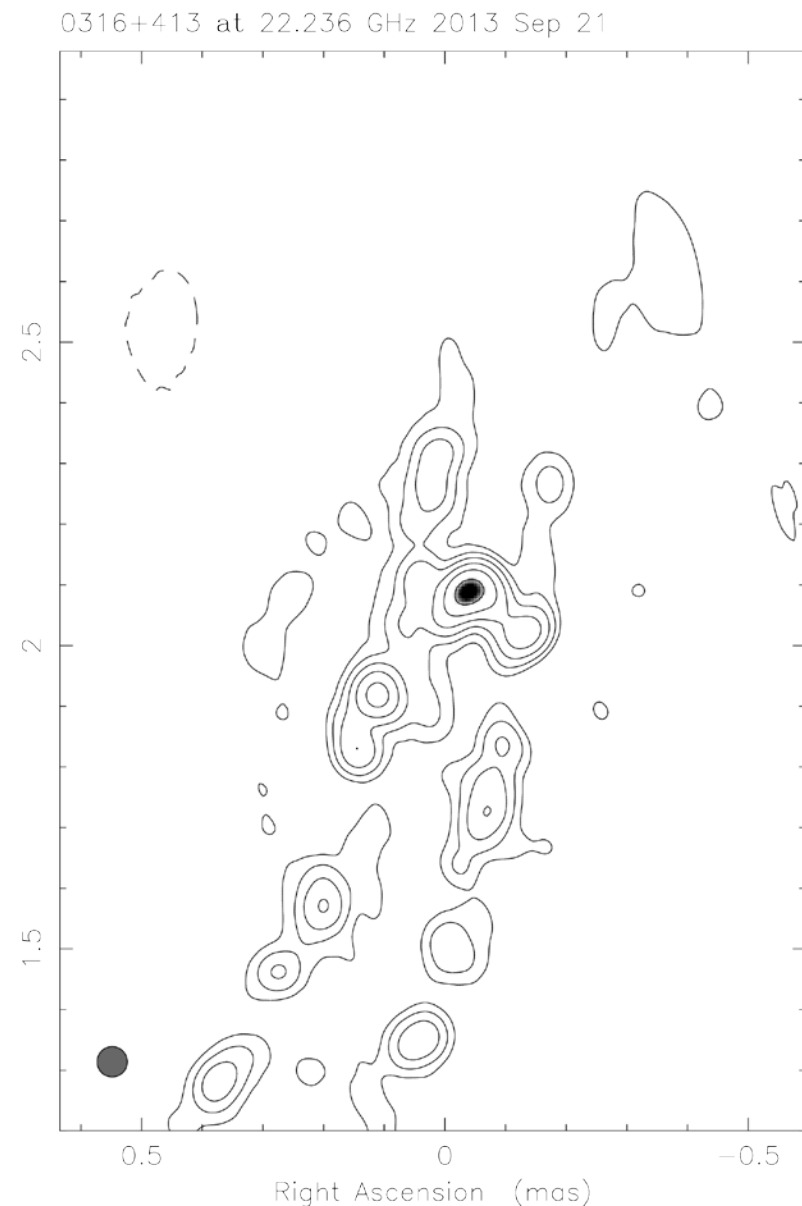
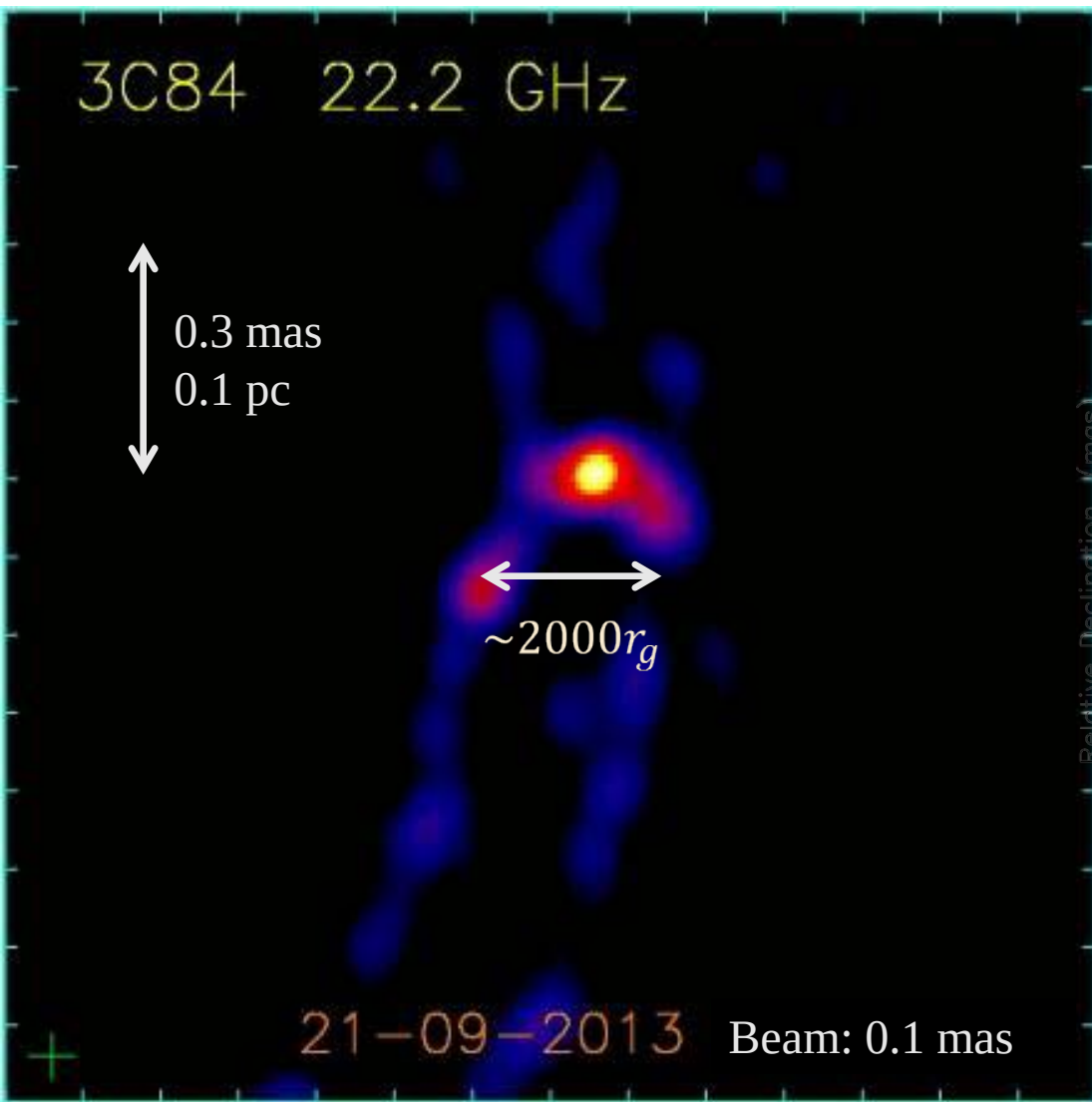
Экстремально яркое пятно
вдали (один парсек) от
центральной машины. Ударная
волна как результат
взаимодействия с окружающей
средой?

Beam: 0.1 mas

21-09-2013

Старт джета в 3C84 ($D=75$ Мpc)

Как формируется джет?



Обзор ядер активных галактик

*уникальная проверка механизма генерации
излучения экстремальной яркости*

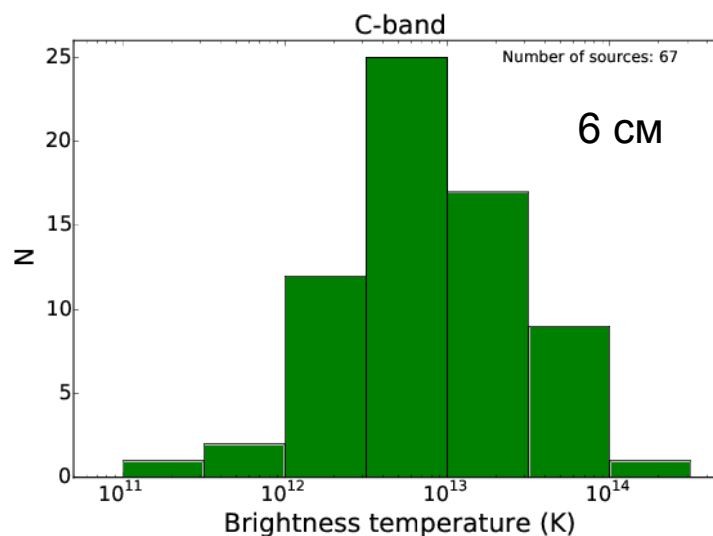
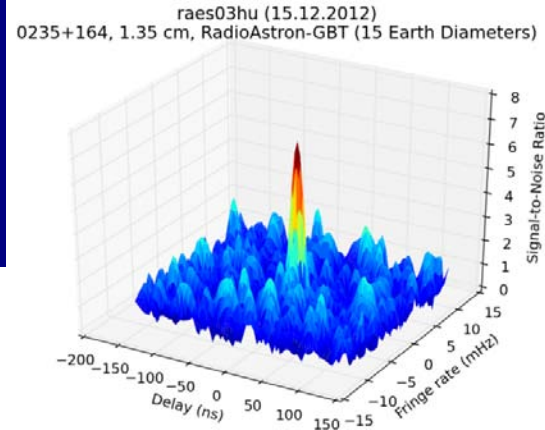
18 см: 27 ED 0048-096 (RA-GBT) – 349,000 км;

6 см: 23 ED 0716+714 (RA-Ef);

1.3 см: 15.5 ED OJ287 (RA-GBT).

Абсолютный рекорд углового разрешения: 14 μ ас;

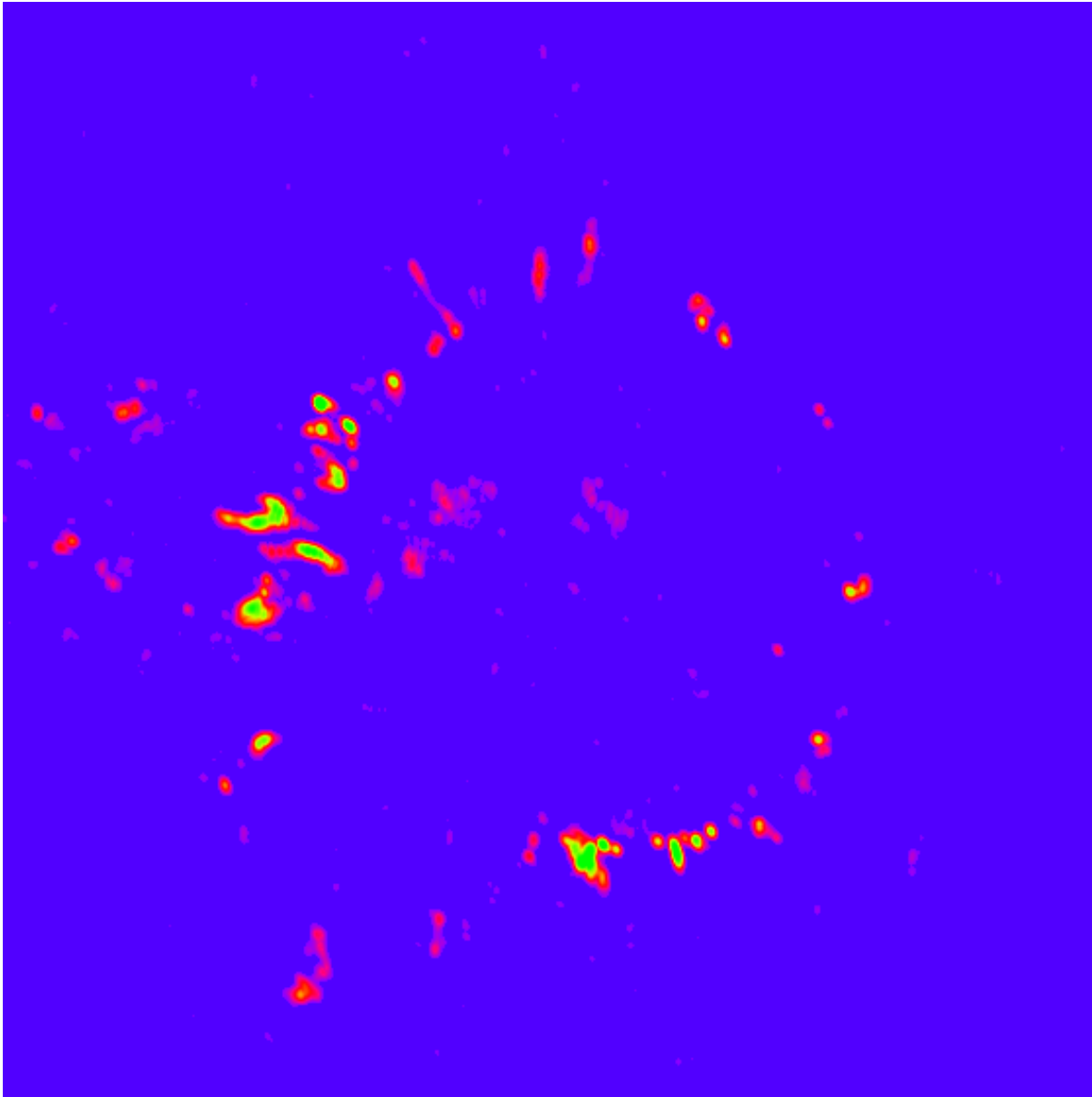
Прокоррелировано и проанализировано 1600 экспериментов, значимый интерференционный отклик найден от 130 активных галактик. Измерена типичная яркость: от 10^{13} до $>10^{14}$ К, что на порядок выше ранее известных значений и требует пересмотра нашего понимания механизма (усиления) излучения / ускорения джетов квазаров.



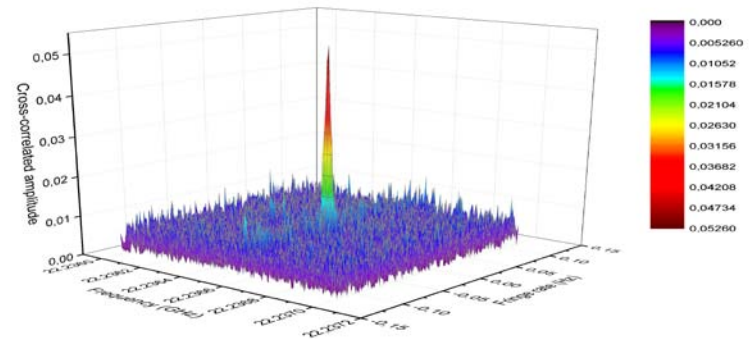
Как сгенерировать более яркое излучение?

- ✓ Тяжелые частицы – требует очень эффективного ускорения и больших магнитных полей.
- ✓ Когерентные процессы – требует высокие магнитные поля.
- ✓ Непрерывное (ре-)ускорение частиц парсеки от центральной машины.
- ✓ Постоянное нахождение во «вспыхивающем» состоянии
- ✓ Допплер-фактор $\delta \sim 100$ – выше типичных оценок из измерений кинематики видимого движения плазмы в джетах.

Космические мазеры: диски и области звездообразования

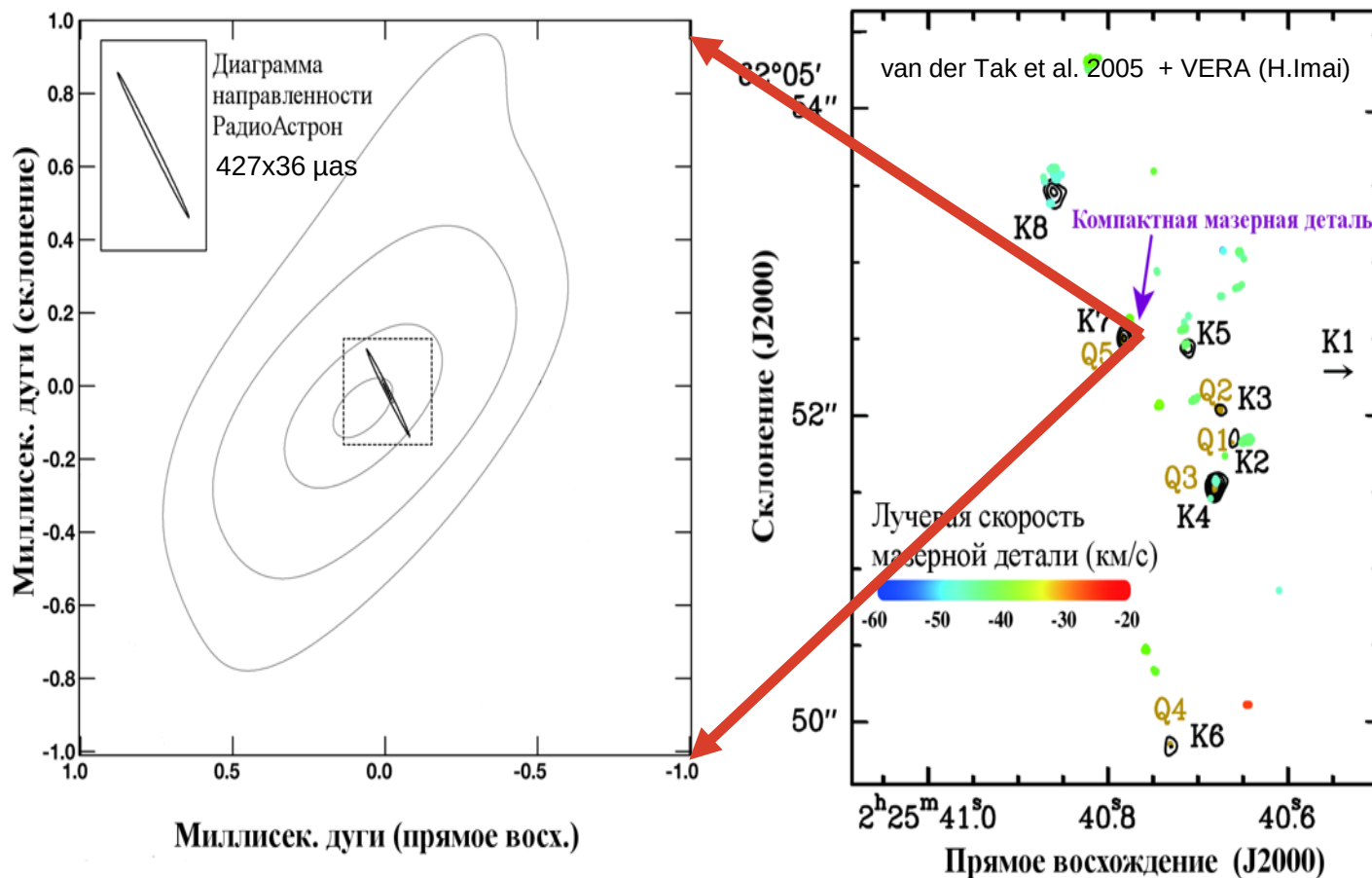


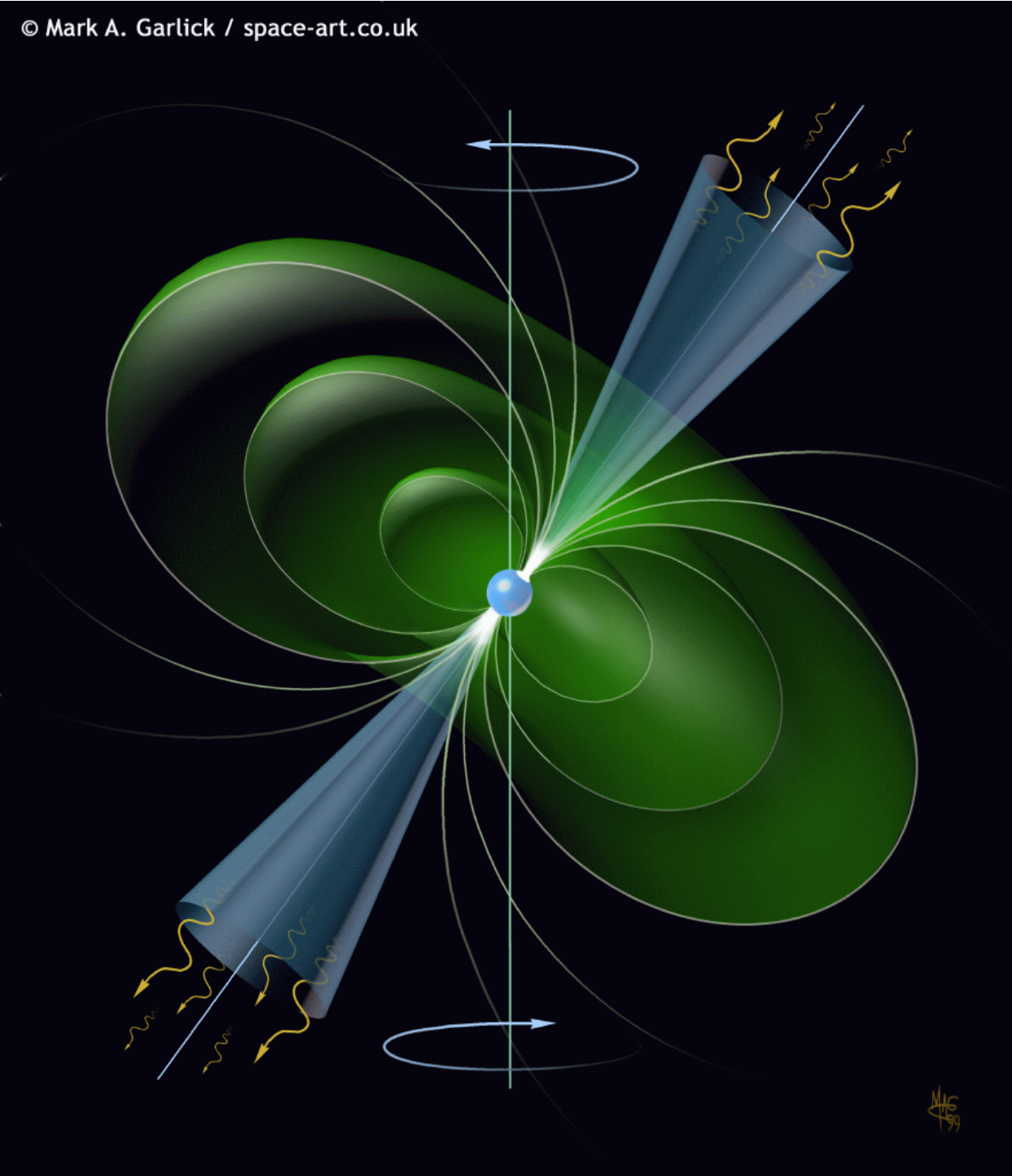
Космические мазеры: результаты



- Обнаружены компактные источники мазерного излучения молекул гидроксила (на частоте 1665 МГц) и воды (22235 МГц) в областях звездообразования в нашей Галактике и мегамазер воды в диске галактики NGC4258.
- Наблюдения с таким высоким разрешением проводились впервые в истории и позволяют исследовать физику тонкой структуры областей звездообразования, вводя жесткие ограничения на размер мазерных пятен.
- Найдена рекордная яркостная температура протозвездного пятна в области Orion KL на уровне 10^{14} - 10^{16} К.

Картографирование мазерного пятна в линии воды, W3 IRS5: РадиоАстрон-EVN

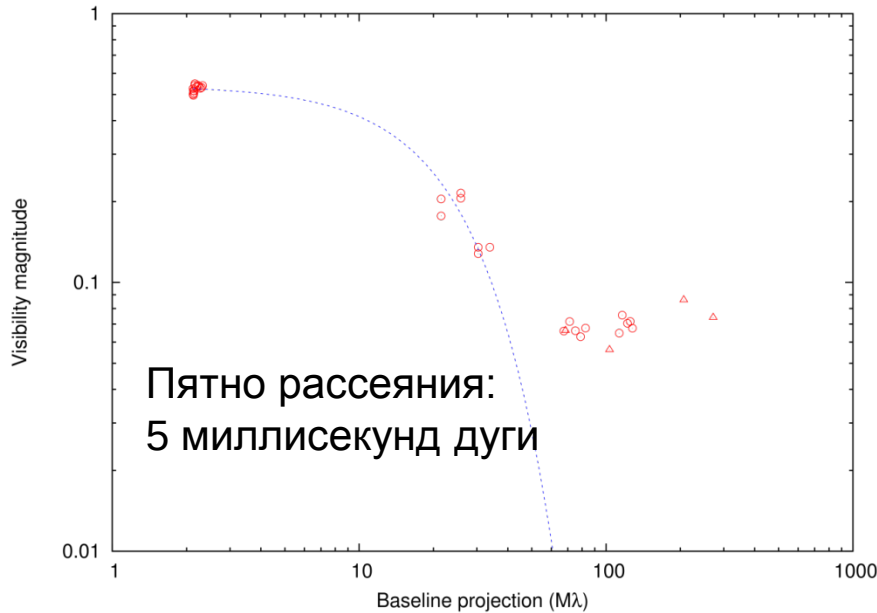




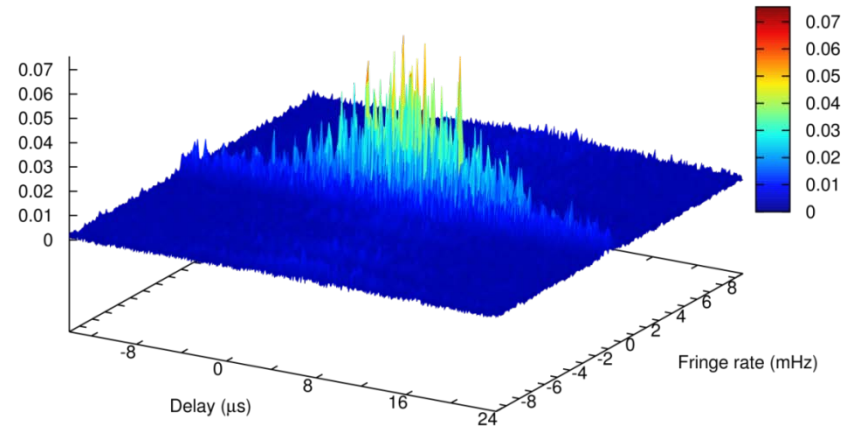
Пульсар

1. Лаборатория экстремальной физики.
2. Прожектор, просвечивающий межзвездную среду.
3. Самые точные часы.
4. Проверка ОТО и гравитационная астрономия.

PSR B0329+54: РадиоАстрон на 92 см

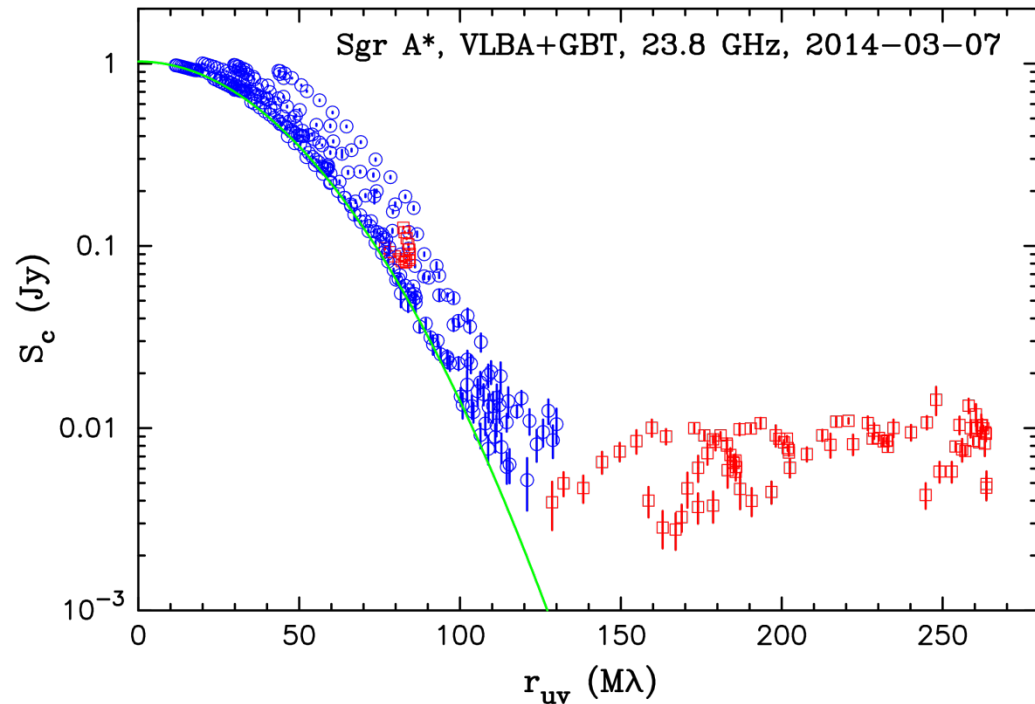
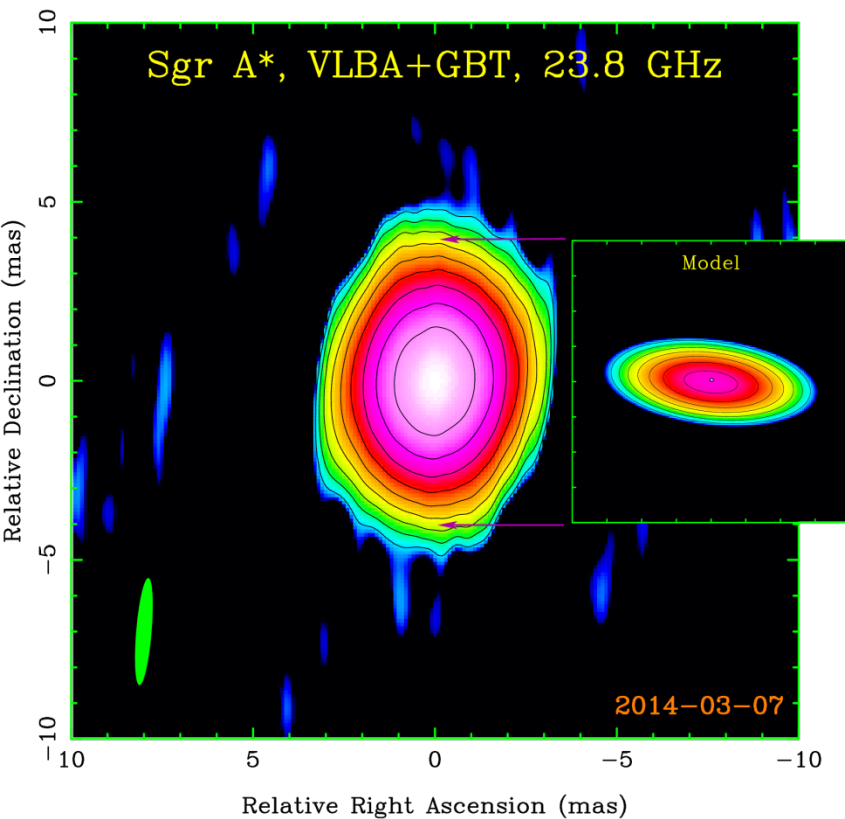


Проекция базы 200,000 км KPT-GBT



- ✓ Неожиданно высокая амплитуда сигнала РадиоАстро́на на космических базах противоречит ожидавшейся однородной структуре пятна рассеяния
- ✓ Открытие суб-структуры пятна рассеяния при наблюдениях вне дифракционного пятна подтверждено РадиоАстроном для десятка пульсаров.
- ✓ Это позволяет восстановить как параметры межзвездной среды, так и самого объекта исследования.

SgrA*: подтверждение суб-структуры даже ТОЛЬКО ПО НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ



Открыта суб-структура пятна рассеяния SgrA*. Эффект необходимо учитывать при интерпретации данных РадиоАстрон и телескопа горизонта событий.

1. Внутренний (реальный) размер SgrA* оценен на уровне 1 mas на длине волны 1.3 см.
2. Измерен спектр турбулентности. Характерные размеры турбулентности оценены между 300 и 10^4 км.
3. Наблюдения, покрывающие широкий диапазон частот и проекций РСДБ баз, позволят в будущем восстановить изображение самого SgrA*.

Некоторые свежие научные статьи по результатам проекта РадиоАстрон:

- “RadioAstron measurements of extreme brightness in 3C273 core: challenge of the emission mechanism”, Y. Y. Kovalev et al., *Astrophysical Journal Lett.*, submitted (2015)
- “Probing the innermost regions of AGN jets and their magnetic fields with Radioastron. I. Imaging BL Lacertae at 21microarcsecond resolution”. J. L. Gomez, A. P. Lobanov, G. Bruni, Y. Y. Kovalev et al. *Astrophysical journal*, submitted (2015);
- “PSR B0329+54: Substructure in the scatter-broadened image discovered with RadioAstron on baselines of up to 235,000 km”. *Popov M.V., Andrianov A.S., Bartel N., Gwinn C.R. et al.* *Astrophysical journal*, submitted; arXiv:1501.04449 (2015)
- “Зондирование космической плазмы гигантскими импульсами пульсара в Крабовидной туманности” *Рудницкий А.Г., Каруппусами Р., Попов М.В., Согласно В.А.* *Астрономический журн.*, принята в печать (2015)
- “RadioAstron space VLBI imaging of polarized radio emission in the high-redshift quasar 0642+449 at 1.6 GHz”. *Lobanov A.P., Gomez J.L., Bruni G., Kovalev Y.Y., et al.* *Astronomy & Astrophysics*, in press; arXiv:1504.04273 (2015)
- “RadioAstron as a target and as an instrument: Enhancing the Space VLBI mission's scientific output”. *Duev D.A., Zakhvatkin D.A., Stepanyants V.A., Calves G. Molera, Pogrebenko S.V., Gurvits L.I., Cimo G., Bocanegra Bahamon T.M.* *Astronomy & Astrophysics*, **573**, A99, 1-8 (2015)
- “Измерение гравитационного красного смещения с помощью космического радиотелескопа “РадиоАстрон””. *Бирюков А.В., Кауц В.П., Кулагин В.В., Литвинов Д.А., Руденко В.Н.* *Астрономический Ж.*, **91**, 887-900 (2014)
- “Discovery of sub-structure in the scatter-broadened image of SgrA*”, *Gwinn C.R., Kovalev Y.Y., Johnson M.D., Soglasnov V.A.* *Astrophysical Journal Letters*, **794**, 14 (2014)
- “RadioAstron Studies of the Nearby, Turbulent Interstellar Plasma With the Longest Space-Ground Interferometer Baseline”. *Smirnova T.V. et al.* *Astrophysical Journal*, **786**, 115-129 (2014)
- ““Радиоастрон” – телескоп размером 300000 км: основные параметры и первые результаты наблюдений”. *Кардашев Н.С. и др.* *Астрон. Журн.*, **90**, 179-222 (2013)

РадиоАстрон: «официально изумительный»

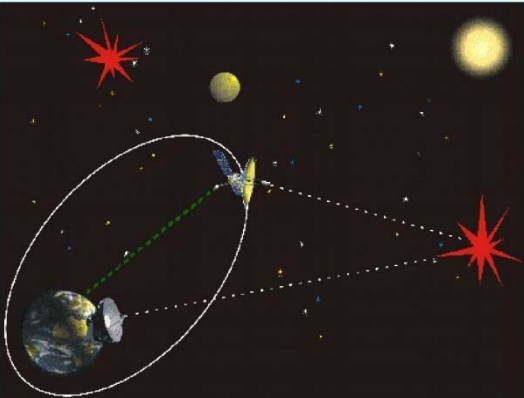
- Впервые в космосе реализованы жесткая зеркальная антенна диаметром 10 м и водородный стандарт частоты.
- Впервые реализован интерферометр с базой до 350 тысяч км (расстояние от Земли до Луны) – **самый большой измерительный инструмент в истории человечества.**
- Достигнуто рекордное в астрономии угловое разрешение 14 микросекунд дуги.



A photograph of a rocket launch. A white rocket with a red stripe is ascending vertically, leaving a large plume of white smoke and fire. The launch is taking place on a launch pad with various support structures and scaffolding visible. Two tall, lattice-like towers with multiple levels of lights or sensors are positioned on either side of the launch pad. The sky is a clear, deep blue. The word "СПАСИБО" is overlaid in large, white, serif capital letters across the center of the image.

СПАСИБО

РадиоАстрон: базовая информация



- ✓ Космический радиотелескоп: диаметр 10 метров
- ✓ Запуск в 2011 г.
- ✓ Диапазоны частот: 0.3, 1.6, 5, 22 (18-25) ГГц
- ✓ Наивысшее разрешение (1.3 см): $\sim 7 \mu\text{as}$.
- ✓ Орбита: перигей 1-50,000 км, апогей $\sim 300,000$ км, период ~ 9 дней; эволюционирующая
- ✓ Пять методов определения параметров орбиты, включая Доплер, лазерные измерения, РСДБ
- ✓ Требования на точность восстановления орбиты: расстояние до 500 м, скорость до 2 см/с.
- ✓ Ожидаемое время жизни: 5 лет
- ✓ Станции управления: Уссурийск, Медвежье озеро.
- ✓ Станции слежения: Пущино, Россия; Green Bank, США.
- ✓ Ширина потока научных данных с КРТ: 128 Mbps.
- ✓ Два метода временной синхронизации: по бортовому (незамкнутая петля) и наземному (замкнутая петля) водородному стандарту.
- ✓ Программные корреляторы: АКЦ, DiFX-Bonn, JIVE SFXC.

Радиотелескопы и обсерватории, обеспечивающие наземную поддержку РадиоАстрона: более 30 штук

<u>Наземное плечо интерферометра:</u>	<u>Измерения полной мощности одиночными антеннами:</u>
Квазар-KBO: Sv, Bd, Zc (Россия);	PATAN-600 (Россия);
Калязин (Россия);	ATCA (Австралия);
Евпатория (Украина);	WSRT (Нидерланды);
Effelsberg (Германия);	Urumqi (Китай);
WSRT (Нидерланды);	Effelsberg (Германия);
Torun (Польша);	Oven Valley (США);
Medicina, Noto, Sardinia (Италия);	GBT (США).
Yebes, Robledo (Испания);	
Jodrell Bank 1 & 2 (Великобритания);	
Usuda (Япония);	
Shanghai 25 & 65, Urumqi (Китай);	
VLA, GBT, Arecibo, VLBA (США);	
HartRAO (ЮАР); KVN (Корея),	
LBA, Tidbinbilla (Австралия).	

Ранняя научная программа: задачи

март 2012 – июнь 2013: научное руководство и координация АКЦ ФИАН

- Проверка принципиально новых угловых масштабов и диапазонов длин волн.
- Переход в регулярный режим оперативного управления обсерваторией.
- Получение уникального опыта по координации и взаимодействию с более 30 Российских и зарубежных радиотелескопов.
- Организация доставки данных, их хранения с защитой от потерь (на сегодня 1.5 ПБ), центра корреляционной обработки АКЦ, пост-корреляционного анализа.
- Получение первых научных результатов для (1) ядер галактик, (2) пульсаров и межзвездной среды, (3) мазеров, необходимых для подготовки ключевой научной программы.

Все задачи выполнены успешно. Результаты опубликованы / в печати.

Открытая научная программа

стартовала с июля 2013 г.

Открыта для заявителей со всего мира. Подход симметричный подходу всех крупнейших российских и зарубежных радиообсерваторий. Благодаря этому, проект устойчив к изменению мировой политической ситуации.

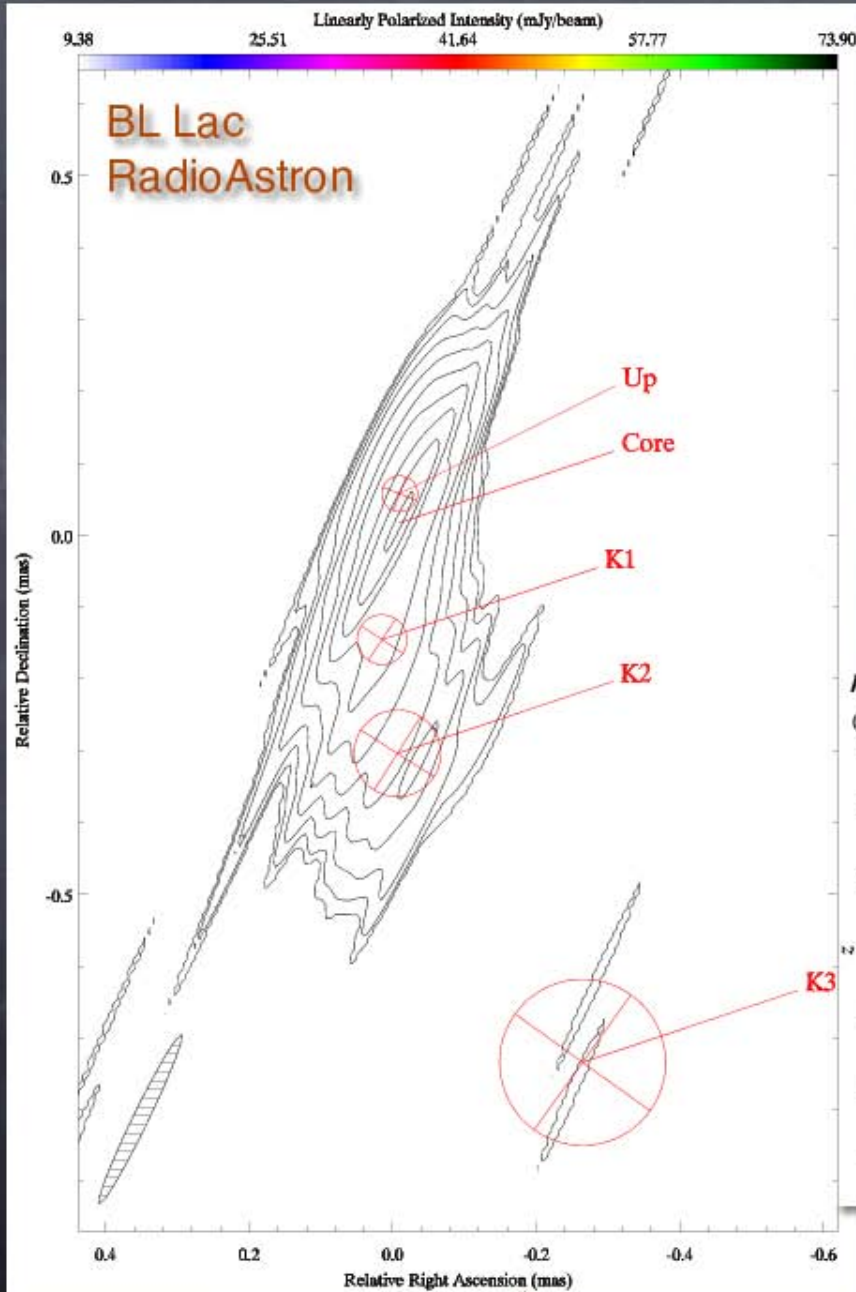
Типичное количество заявителей: около 200 человек из 20 стран. Примерно у половины проектов российские руководители, у большинства – российские со-авторы.

Тематика: ядра активных галактик (доминирует), мазеры, пульсары, SgrA*, межзвездная среда, гравитация, микроквазары.

Реализация первого и второго года: отобранные проекты поставлены в наблюдения в объеме, близком к рекомендованному.

Программа третьего года сформирована.

BL Lacertae



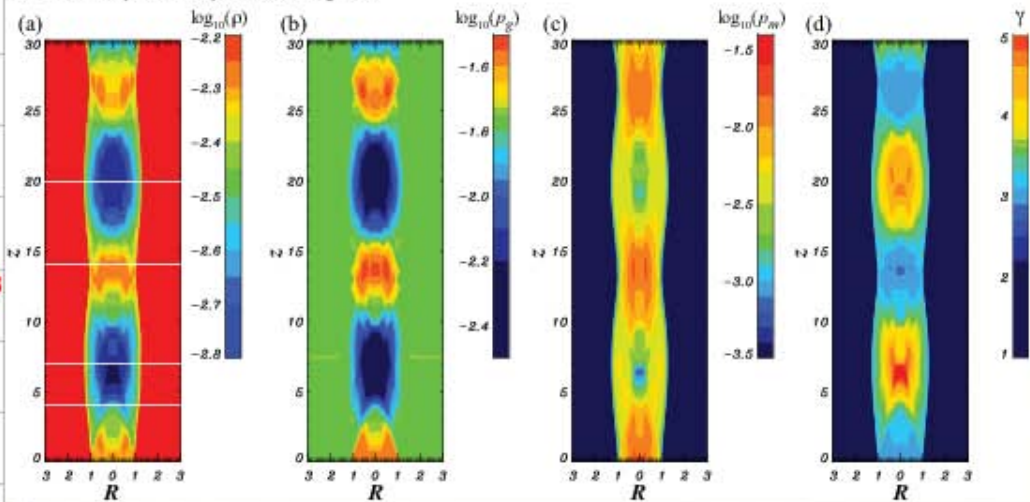
We observe a two-component structure in the core area.

Fitting of the VLBA-BU-BLAZAR data between November 2013 and June 2014 shows a new component, M1, being ejected near our RadioAstron observations.

As observed before (Marscher et al., Nature, 2008), we propose Up correspond to emission upstream the core.

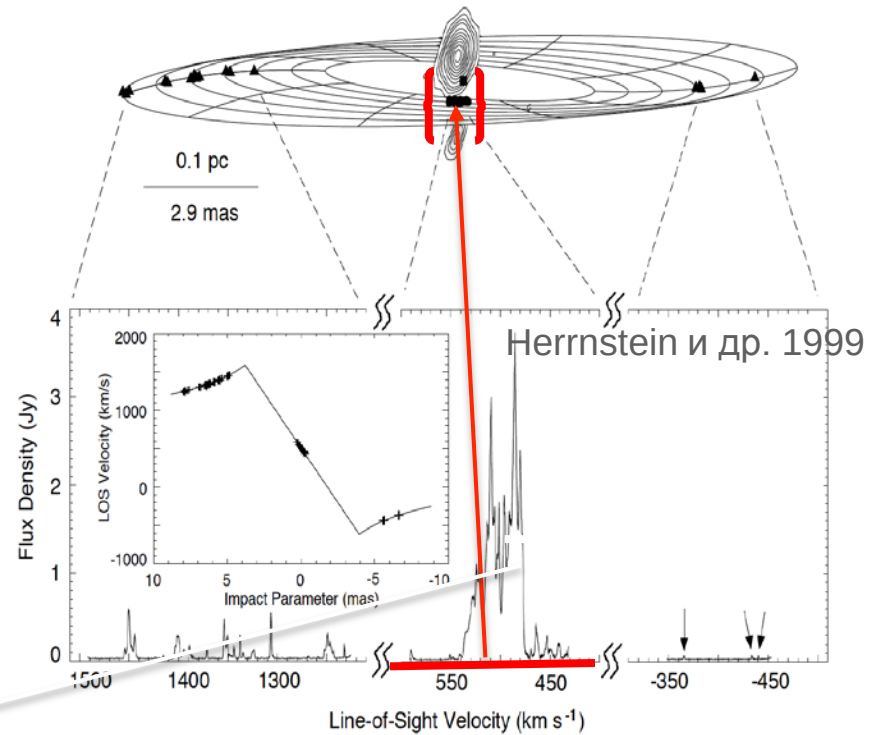
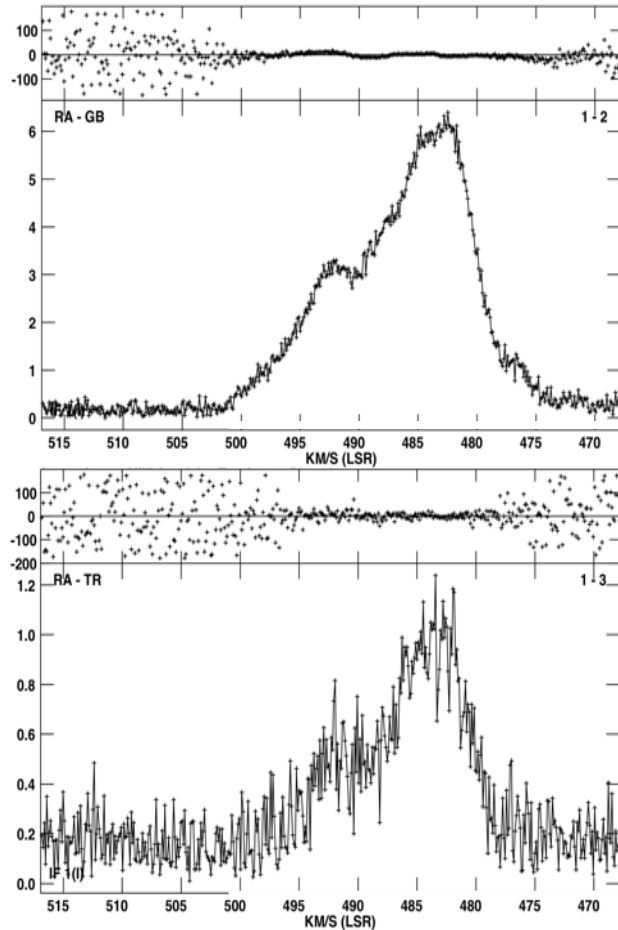
We observe a pattern of three recollimation shocks at 40, 100, and 250 μ as.

helical B (MHD-c), $t=200$, $B_0=0.2$

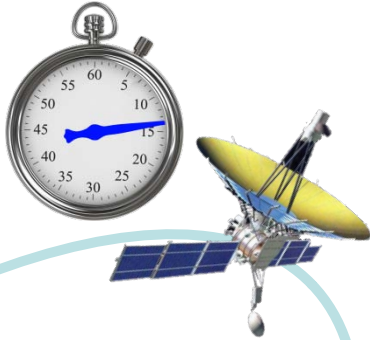


Mizuno et al. (2015)

Галактика NGC 4258 (Мессье 106)



Эксперимент по измерению гравитационного замедления времени



ЭПЭ + СТО:
$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{U_e - U_s}{c^2} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2c^2} + O(c^{-4})$$

Нарушение принципа эквивалентности:

$$\frac{\Delta T_{\text{grav}}}{T} = \frac{\Delta U}{c^2} (1 + \varepsilon)$$

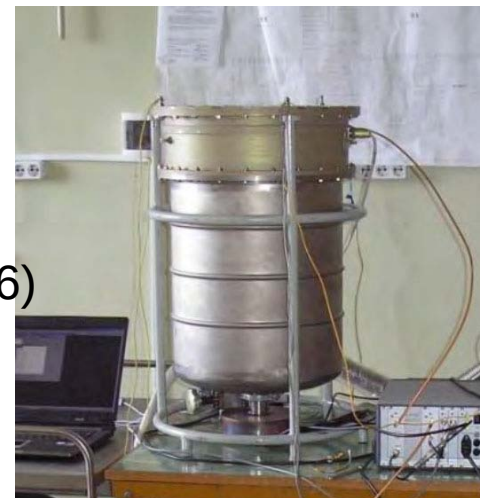
Точность измерения ε :

Gravity Probe A (1976): 1.4×10^{-4}

РадиоАстрон: 2×10^{-5} (2015–2016)
 2×10^{-3} (достигнуто)

Приложения

- GPS/ГЛОНАСС: –38 мкс/сут
- хронометрическая геодезия



ВЧ-1010 «Время-Ч»
(Н.-Новгород)
стабильность:
 2×10^{-15} на 10^4 с