

РадиоАстрон

Ю.Ю. Ковалев (АКЦ ФИАН)

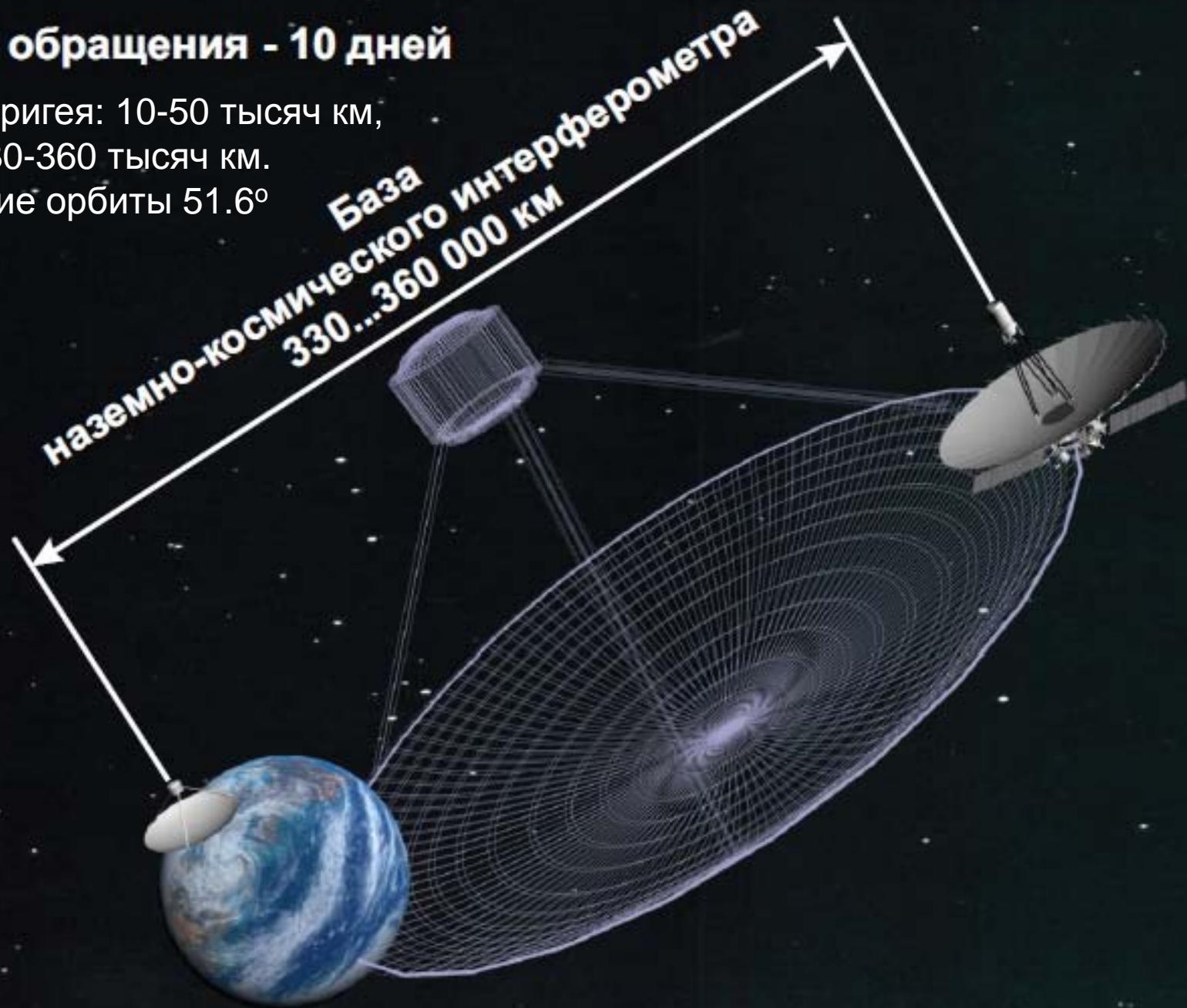


Период обращения - 10 дней

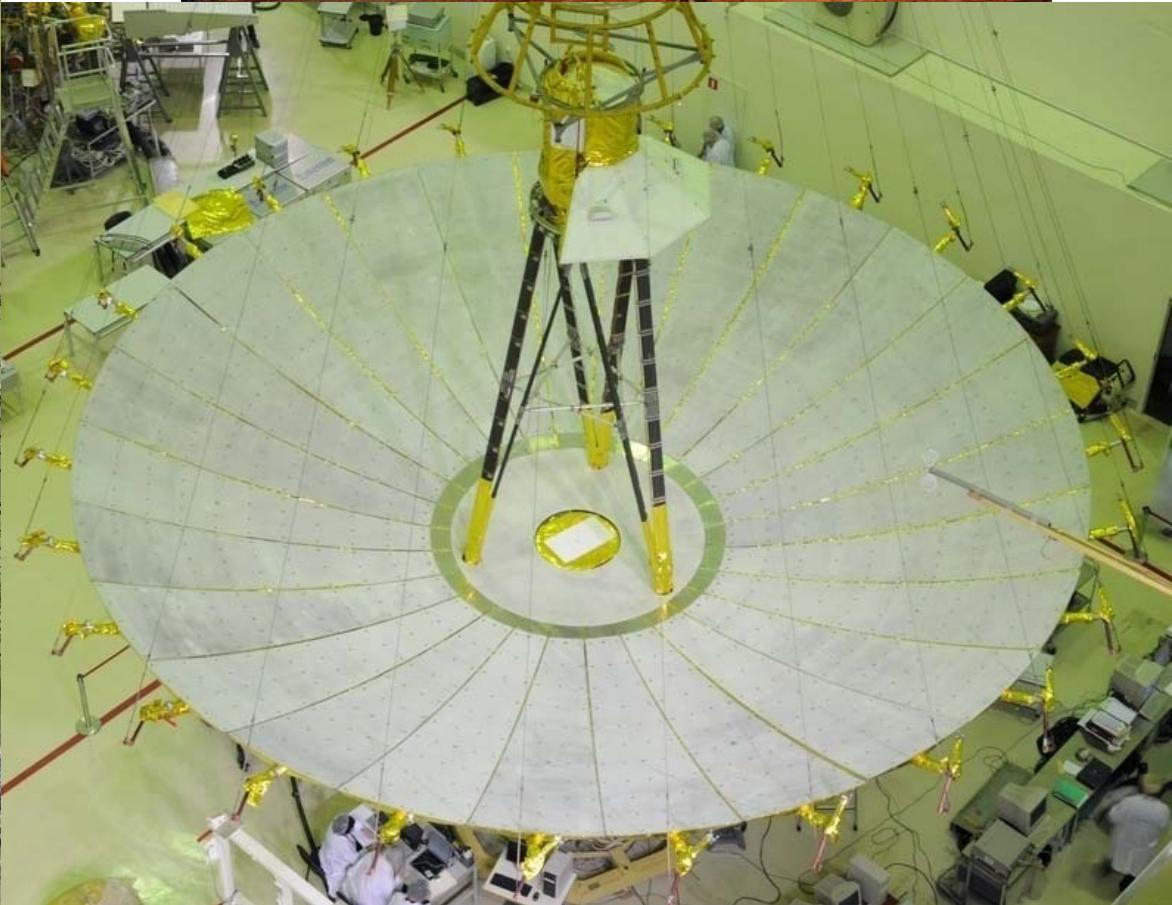
Радиус перигея: 10-50 тысяч км,

апогея: 330-360 тысяч км.

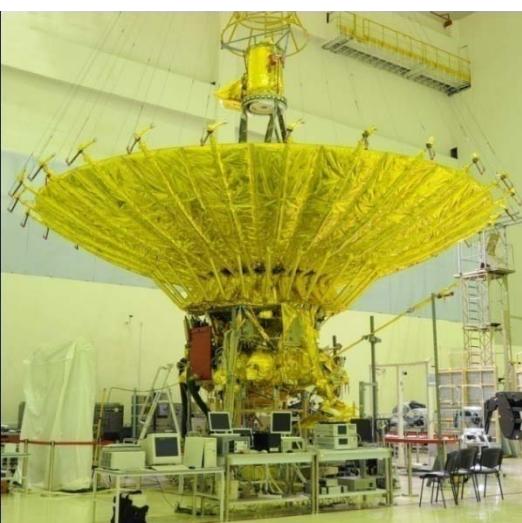
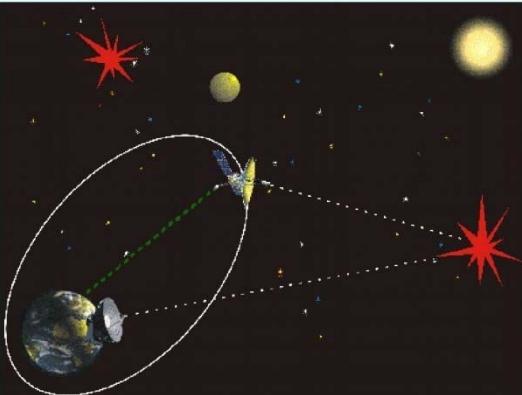
Наклонение орбиты 51.6°



Успешно запущен в 2011 г.



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): ~7 μas.
- ✓ Орбита: перигей 1-50,000 км, апогей ~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, Медвежьи озера.
- ✓ 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.

КРТ в полете

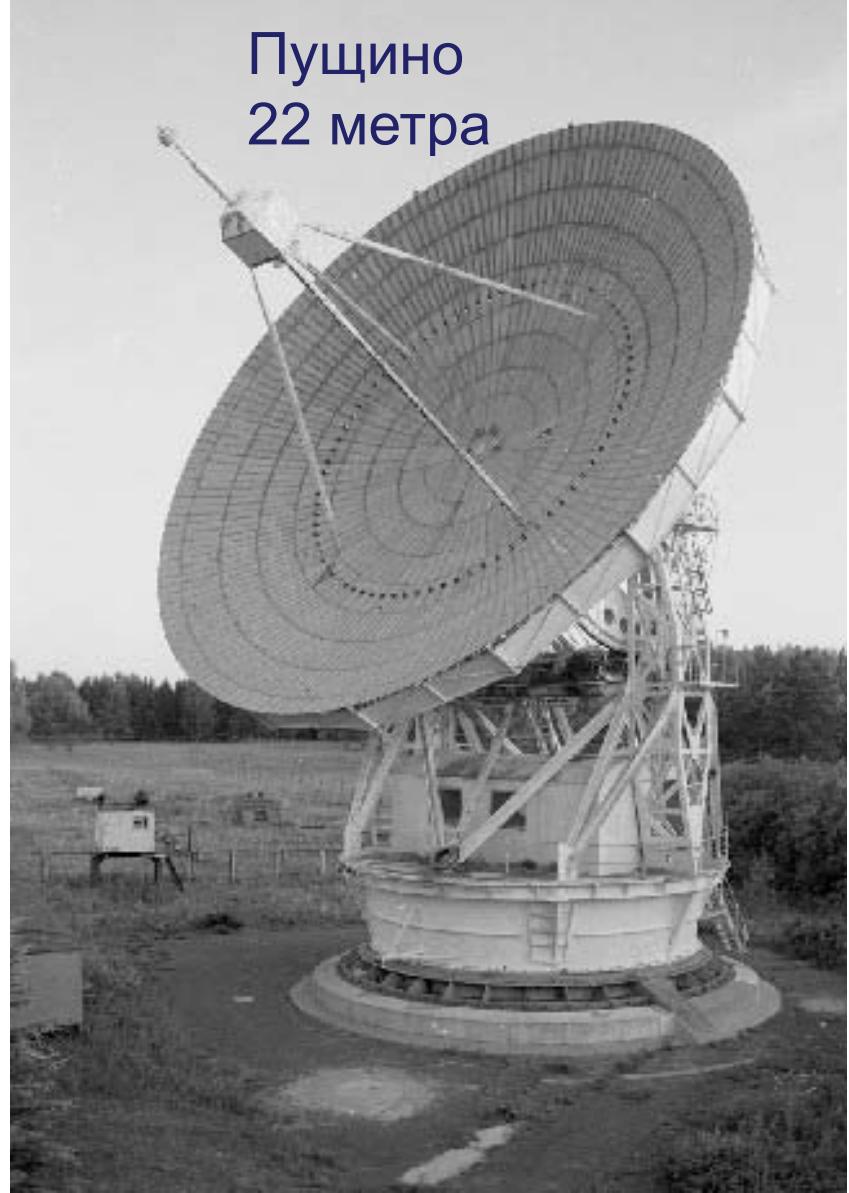
см. Космические исследования № 5 (2014)

Таблица 2. Основные параметры КРТ по [5] и новым измерениям

Параметр	1.35 см	6.2 см	18 см	92 см
	LCP; RCP	LCP; RCP	LCP; RCP	LCP; RCP
КРТ в полете, 2011–2013:				
1. $(\vartheta_{0.5} \pm 5\%) \cdot (\phi_{0.5} \pm 5\%)$,	$6.0' \times 13'$	$25'$	$72'$	$6^\circ.1$
2. $A_{\text{eff}} \pm 10\%$, м ² ;	7.5	35	41	30
3. КИП = $A_{\text{eff}} / A_{\text{geom}} \pm 10\%$	0.1	0.45	0.52	0.38
4. Tsys $\pm 13\%$	127; 100	147; –	41.0; 43.5	145; 147
5. $F_{\text{sys}} \pm 10\%$ (SEFD), кЯн	46.7; 36.8	11.6; –	2.76; 2.93	13.3; 13.5
6. Усиление, Ян/К	368	78.9	67.3	92.0
7. $\Delta\vartheta_S$	$-1.2' \pm 0.2'$			
8. $\Delta\phi_S$	$<1.5'$			
9. $\Delta\phi_P$	$2.5'$			
10. σ_{SVLBI} , мЯн (при $\Delta t = 5$ мин; $\Delta v = 16$ МГц)	17; 15	5; –	3; 3	14; 14
11. $\alpha_D = (\vartheta_{0.5} \cdot \phi_{0.5}) D/\lambda$	1.29×2.80	1.17	1.16	1.16

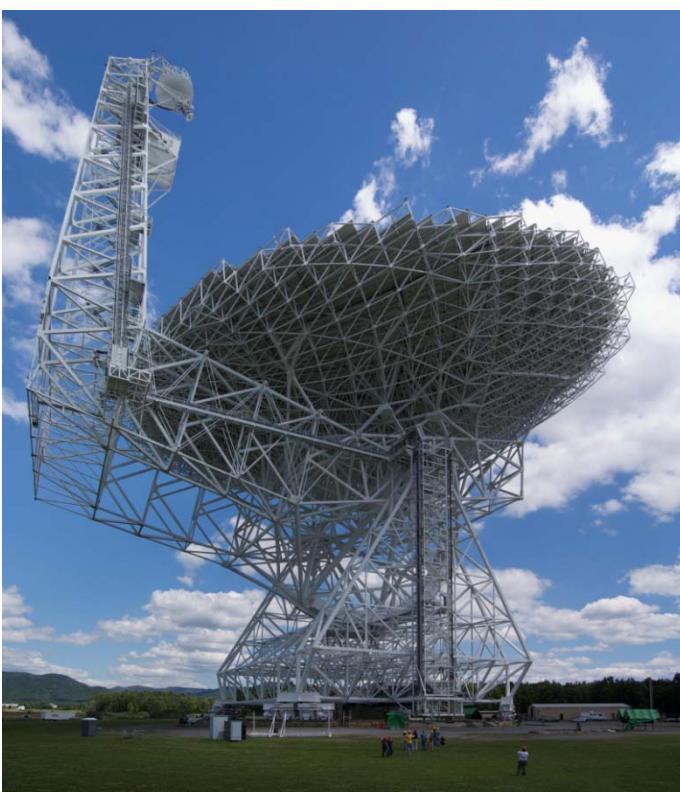
Примечание. В строках 1–11 даны: ширина главного лепестка диаграммы направленности по уровню половинной мощности – 1, эффективная площадь – 2, коэффициент использования площади – 3, эквивалентная температура шума и плотность потока шумового излучения системы – 4 и 5, усиление телескопа – 6, систематическая погрешность при сканировании площадки неба по двум координатам (строки 7 и 8) после ввода постоянной поправки (строка 9) в наведение телескопа, чувствительность интерферометра КРТ – Green Bank Telescope по (1) и [6] – 10, отношение измеренной ширины к идеальной ширине λ/D главного лепестка диаграммы направленности – 11.

Станции слежения и сбора научной информации: РФ и США



Наземное РСДБ плечо

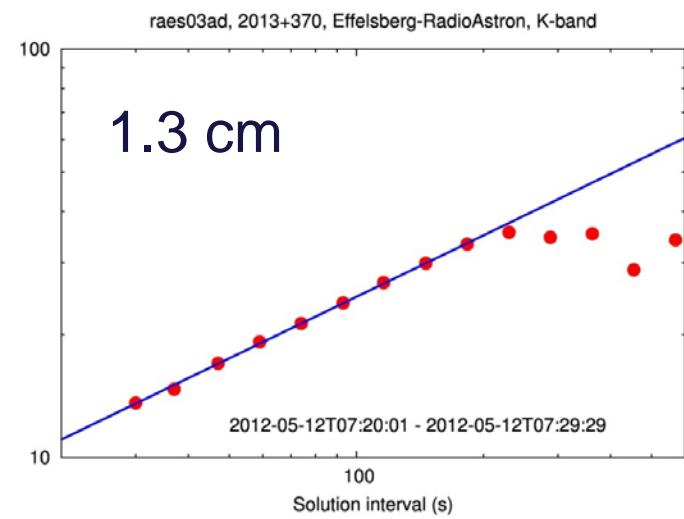
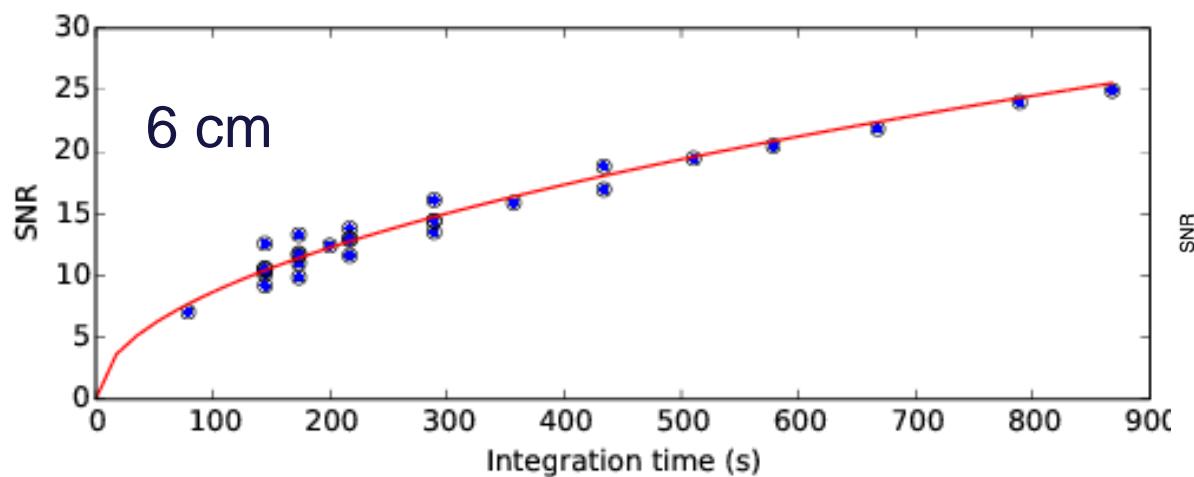
Российская сеть Квазар, Евпатория (Украина), Effelsberg, Medicina, Yebes, WSRT, GBT, Arecibo, VLA, Usuda, EVN, VLBA, и др. Полная поддержка.



Мазер успешно работает на борту ~3 лет

1. Реализовано более длительное, чем на Земле, накопление сигнала.
2. Когерентное использование всей доступной полосы.
3. Корреляция 1 бит против 2 бит.

Результирующий выигрыш чувствительности интерферометра: 2 раза.



Ранняя научная программа: задачи

март 2012 – июнь 2013

Научное руководство и координация: АКЦ ФИАН

- Проверка принципиально новых угловых масштабов и диапазонов длин волн:
 - ✓ Есть ли “жизнь” за 5-10 диаметрами Земли?
 - ✓ Убивает ли нас среда на 6 и 18 см, 92 см?
 - ✓ Первые результаты сложного диапазона 1.3 см
- Переход в регулярный режим оперативного управления обсерваторией.
- 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.

Научные и научно-технические публикации готовятся или уже в журналах или опубликованы.

Открытая научная программа

стартовала с июля 2013 г.

АО-1 целиком состоит из ключевых научных программ.

В АО-2: баланс KSP & GOT.

Оценка чистого наблюдательного времени АО-1: 1000 часов.

Международный комитет отобрал 7 проектов для АО-1 и 12 проектов для АО-2.

Типичное количествово со-инвестигаторов: около 200 человек из 20 стран. Примерно у половины проектов российские руководители, у большинства – российские co-Is.

Тематика: AGN (доминирует), мазеры, пульсары, SgrA*, межзвездная среда, гравитация, микропланеты. Российские заявители лидируют в половине проектов, участвуют во всех.

Реализация АО-1: все проекты поставлены в наблюдения в объеме, близком к рекомендованному.

Обзор ядер активных галактик

92 см: 2.5 ED 0235+164 (RA-Ar);

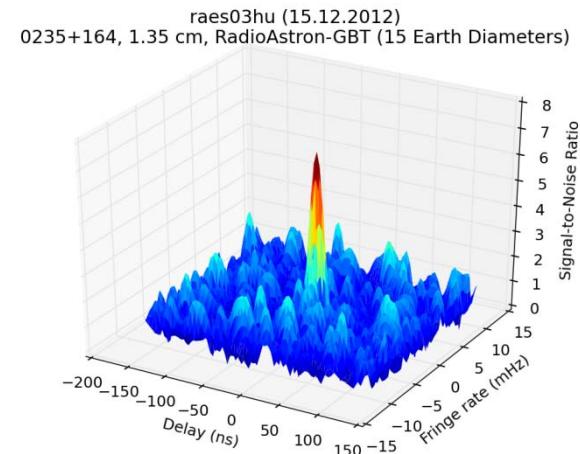
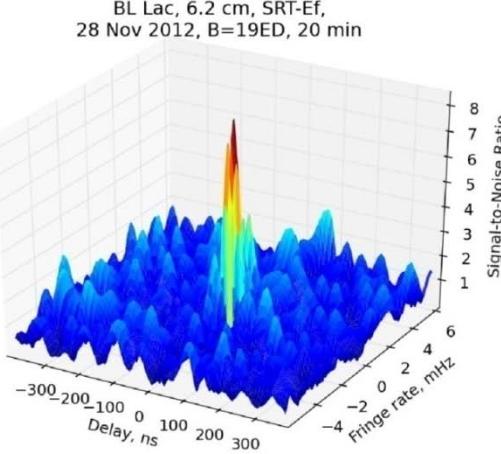
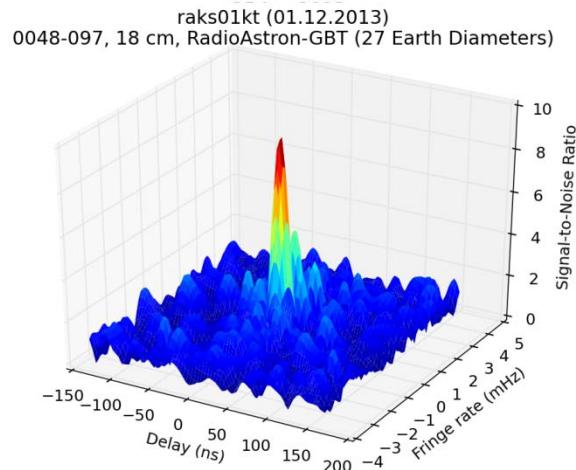
18 см: 27 ED 0048-096 (RA-GBT) – 349,000 км;

6 см: 23 ED 0716+714 (RA-Ef);

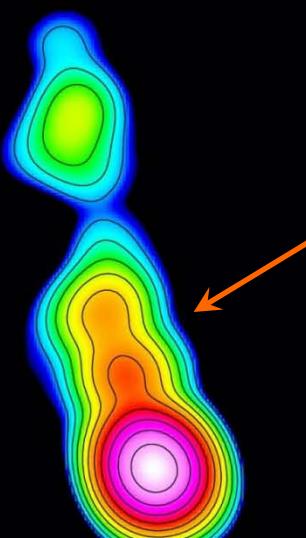
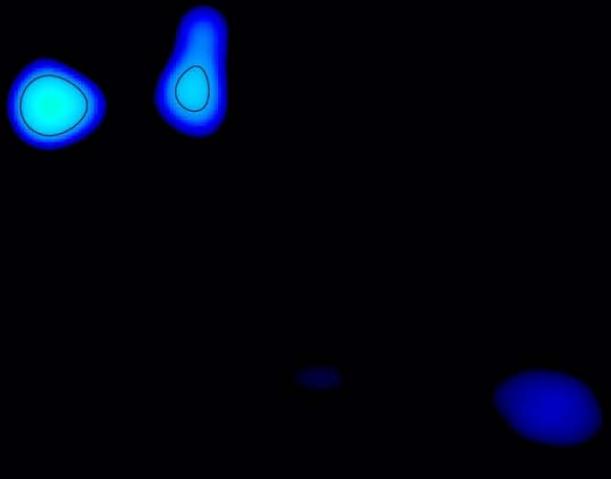
1.3 см: 15 ED 0235+164 (RA-GBT).

Абсолютный рекорд углового разрешения: 14.5 μ as;

Прокоррелировано и проанализировано 720 экспериментов, значимый интерференционный отклик от 80 AGN найден в 270. Типичные Tb: 10^{12} до $>10^{14}$ К. Требует релятивистского усиления с $\delta \sim 10-100$ и выше для случая релятивистских электронов.



RadioAstron-EVN: 0716+714, 6 cm



5 parsec

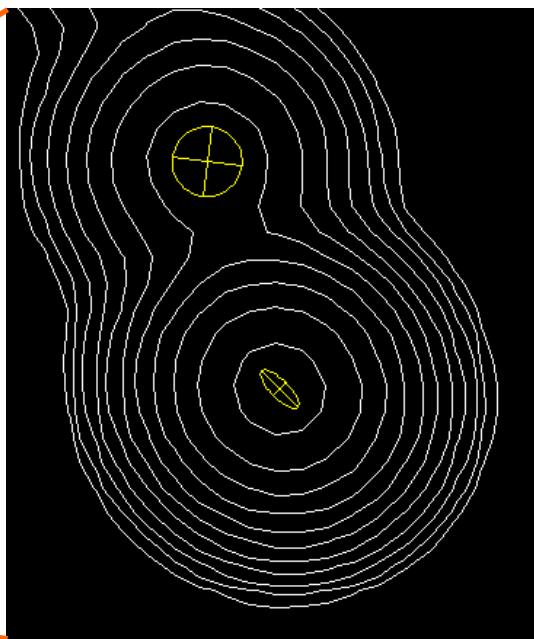


2012-03-14

Первое картографирование квазара

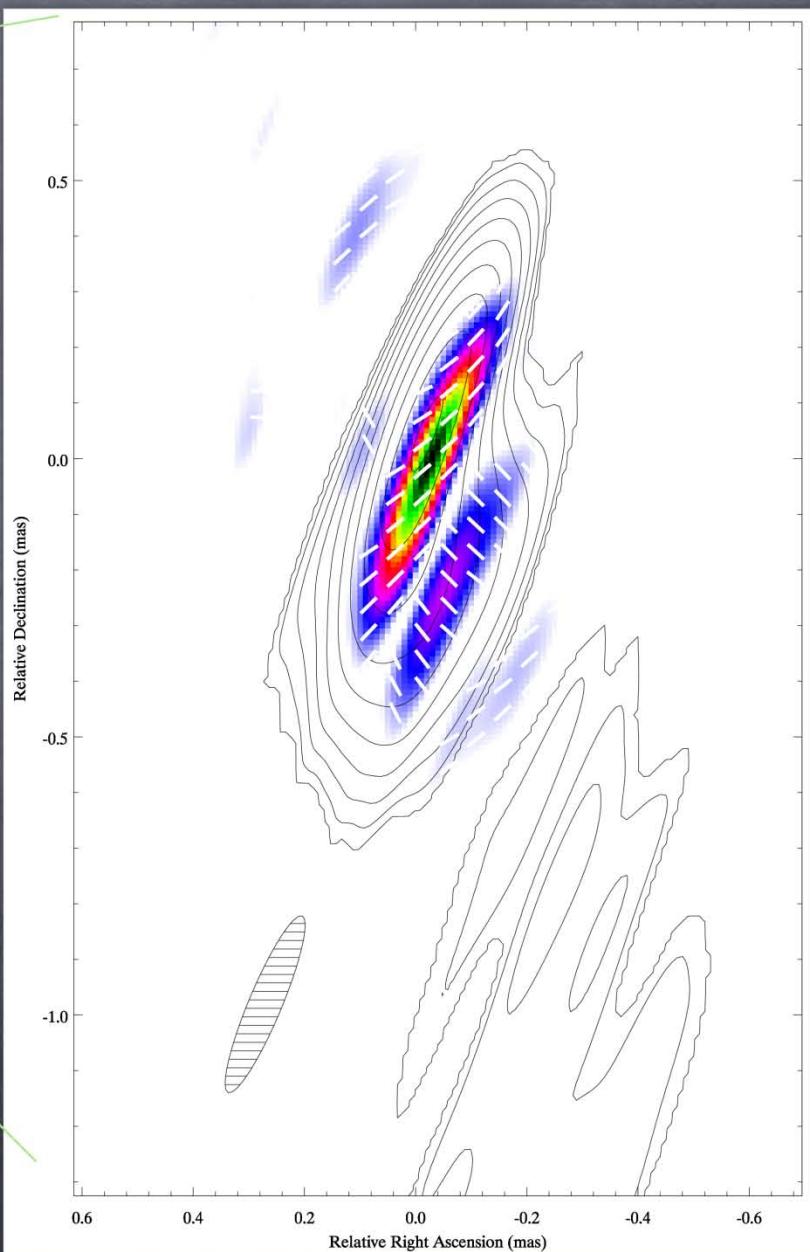
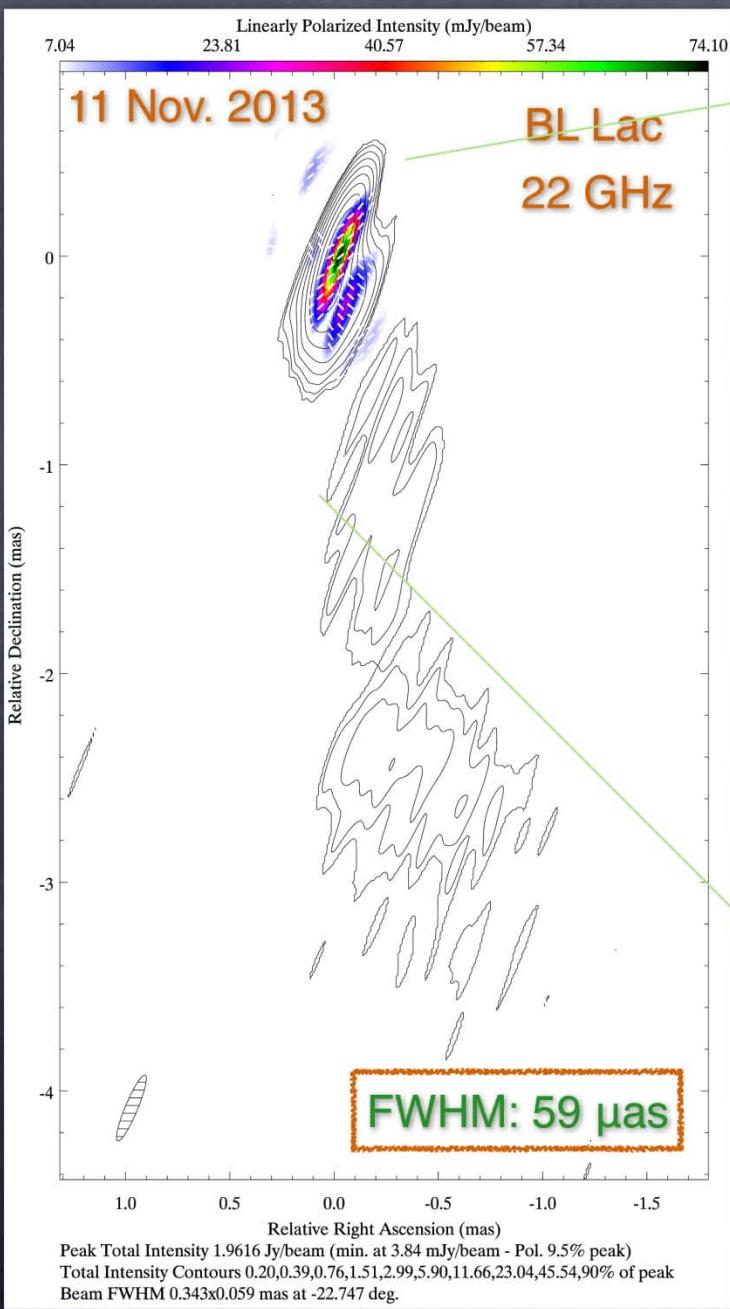
расстояние: 1.6 Гпк

Ширина сопла струи:
0.3 парсека.
Яркость: $2 \cdot 10^{12}$ K.



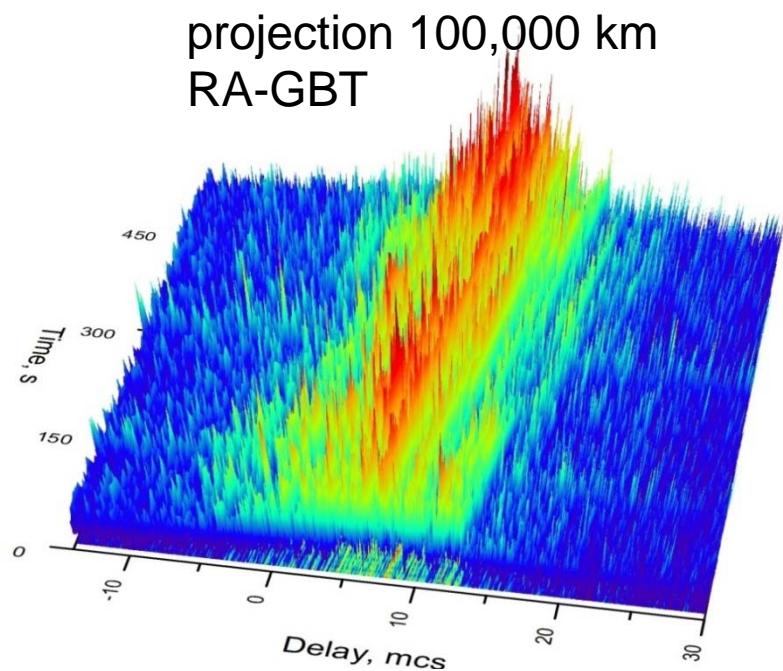
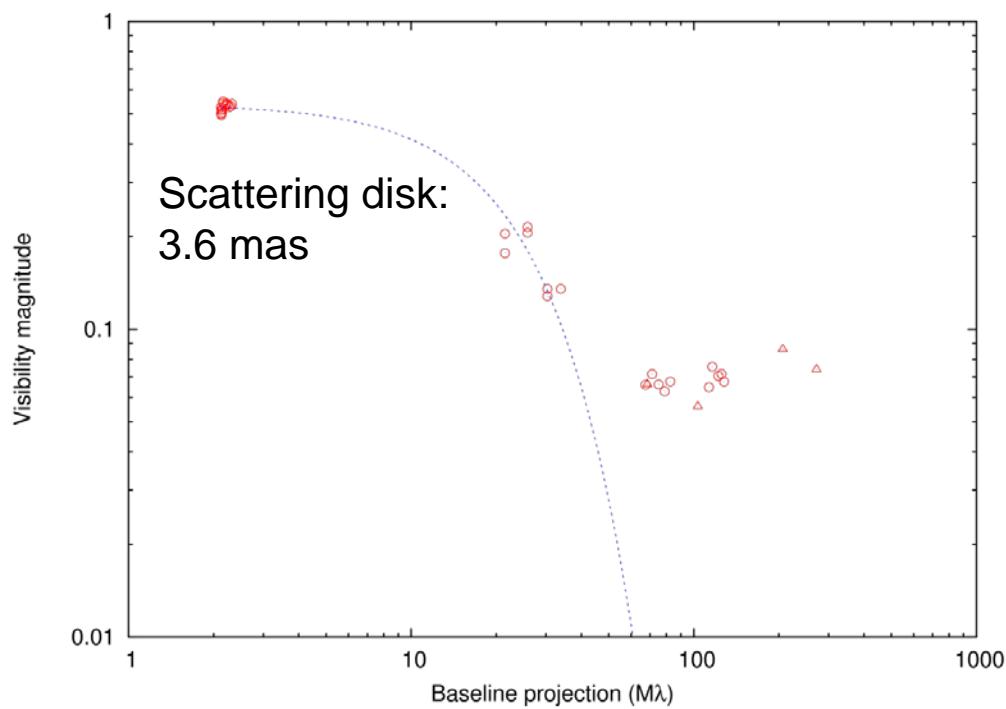
A KSP FOR POLARIMETRIC SPACE-VLBI WITH RADIOASTRON

Gomez, Lobanov, Anderson, et al.



PSR B0329+54: RadioAstrion-GBT, WSRT, Kalyazin at 92 cm

Popov, Gwinn, et al.



- ✓ Fine structure of visibility function in delay and its evolution with time reflects a random interference of many scattered rays.
- ✓ Scattering screen is estimated to be at $2/3$ of the distance to the source.
- ✓ The flattening of the visibility function reflects a presence of a refractive substructure within the scattering disk. Provides new tool to probe interstellar density irregularities.

Cosmic masers with RadioAstron

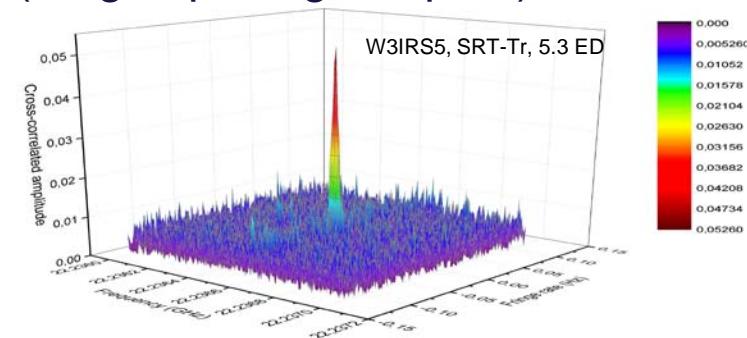
Alakoz et al.

OH (hydroxyl) line at 1665 MHz

- ✓ Current record: 1.8 ED (129 Mλ) for Galactic star-forming region Onsala1 at ~2.5 kpc distance. (fringe spacing ~1.6 mas.)
- ✓ This observations as well as observations of two other sources with VSOP (G34.26+0.15 and W48, Slysh et al. 2002) show that OH masers are detectable with space VLBI even close to the galactic plane.
- ✓ Typical $T_b \sim 10^{12} - 10^{13}$ K

H₂O (water) line at 22.235 GHz

- ✓ Absolute record for a cosmic masers: 5.9 ED (5560 Mλ) for Galactic star-forming region W3 IRS5 at ~1.8 kpc (fringe spacing ~37μas.)



- ✓ Detected water masers (at 2-4 ED's): W51, Cepheus A, Orion KL.
- ✓ Structures with linear size close to that of the Sun are found ($4-10 \times 10^6$ km)
- ✓ Typical $T_b \sim 10^{14} - 10^{16}$ K

Рекорды миссии РадиоАстрон



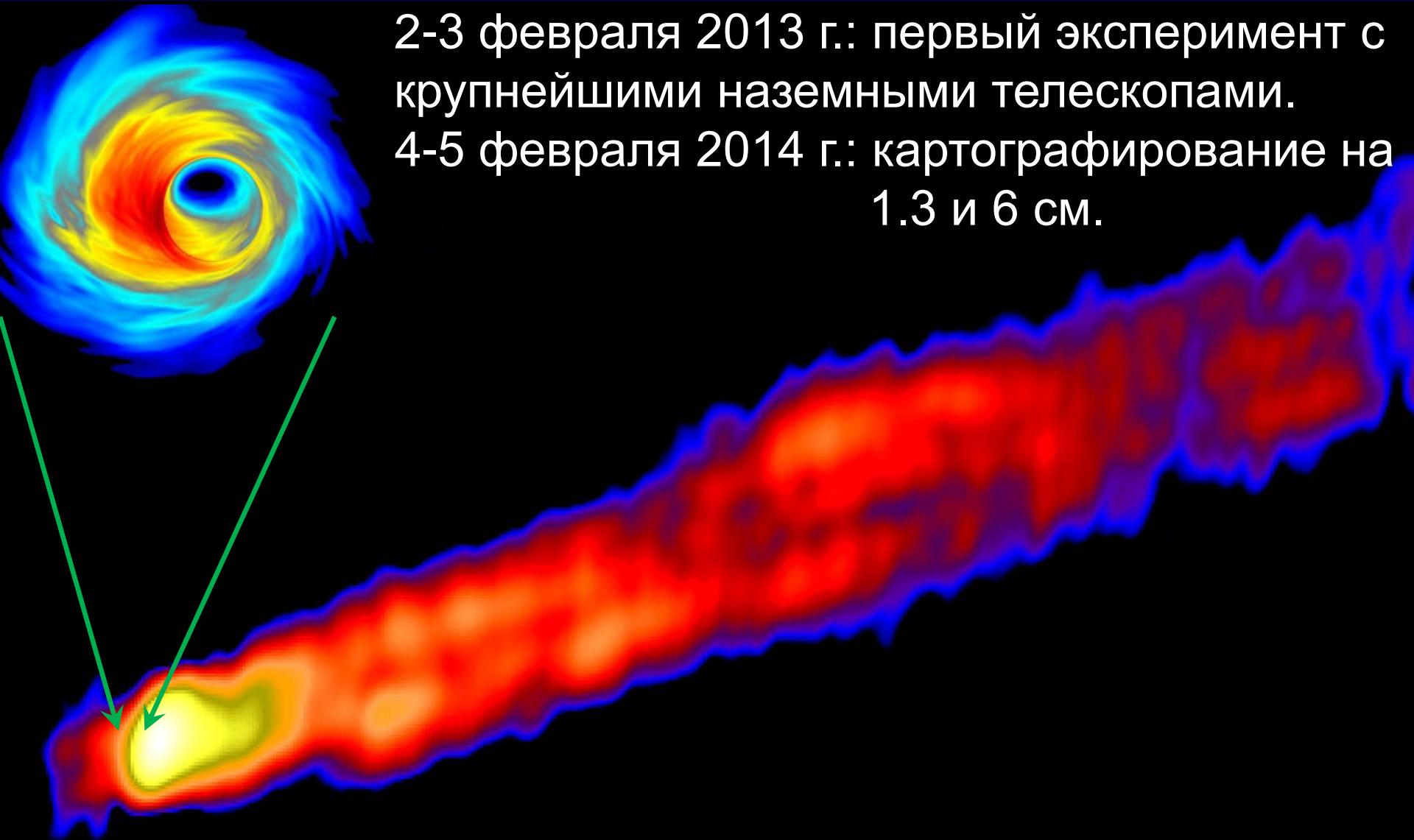
- Впервые реализован наземно-космический интерферометр на длинах волн 92 см и 1.3 см.
- Впервые в космосе реализованы жесткая зеркальная антенна диаметром 10 м и водородный стандарт частоты.
- Впервые реализован интерферометр с проекциями баз:
 - ✓ 20 диаметров Земли (92 см, пульсары),
 - ✓ 2.5 диаметра Земли (92 см, квазары),
 - ✓ 27 диаметров Земли (18 см, квазары),
 - ✓ 22 диаметров Земли (6.2 см, квазары),
 - ✓ 15 диаметров Земли (1.3 см, квазары) и
 - ✓ 5 диаметров Земли (1.3 см, мазеры) –
самый крупный измерительный инструмент в истории человечества.
- Достигнуто рекордное в астрономии угловое разрешение 14 микросекунд дуги.

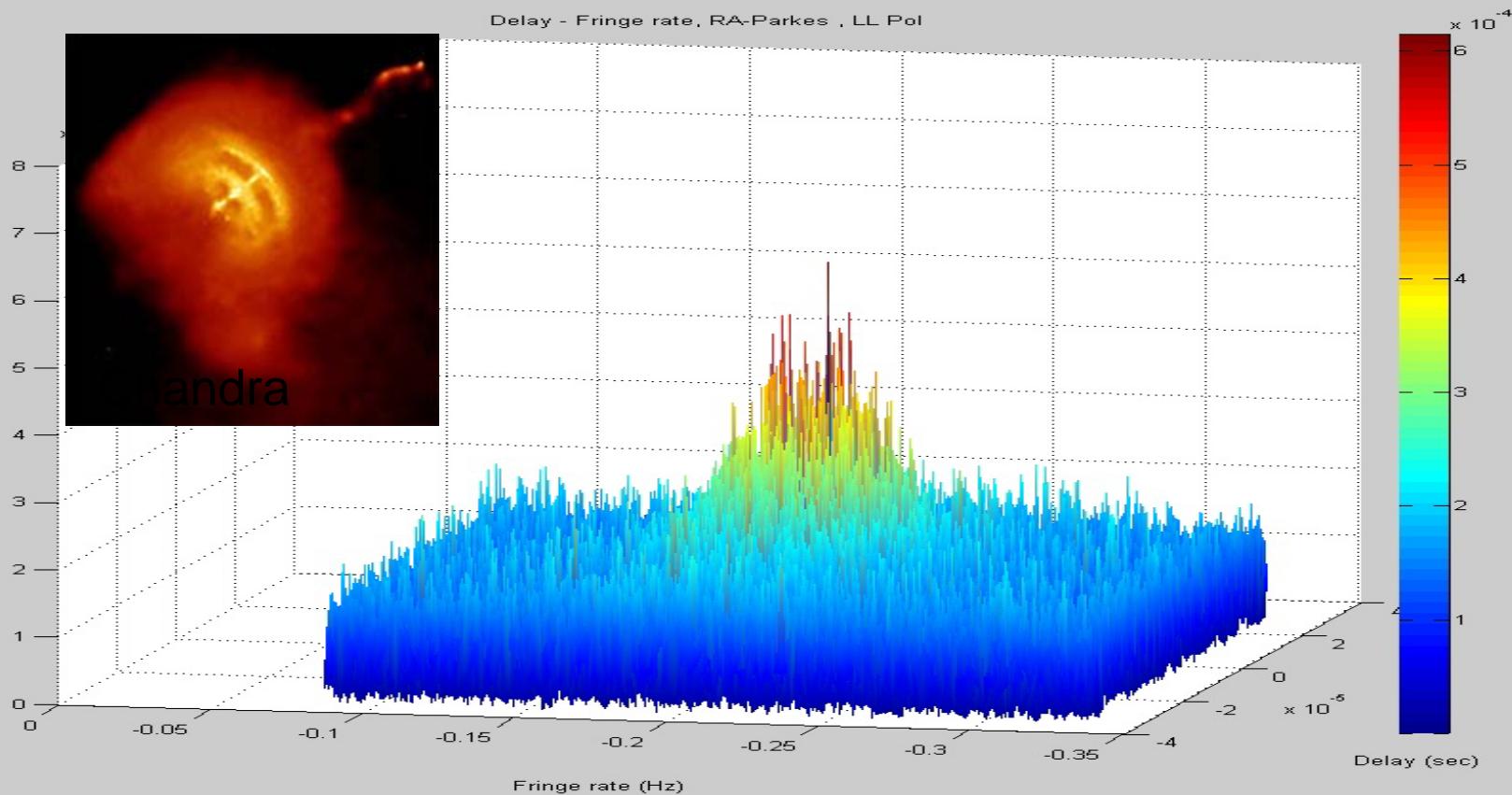
СПАСИБО



Черные дыры: Дева А

2-3 февраля 2013 г.: первый эксперимент с
крупнейшими наземными телескопами.
4-5 февраля 2014 г.: картографирование на
1.3 и 6 см.





Многокомпонентное изображение пульсара Vela (расстояние 960 св. лет) 10 мая 2012 г за 10 минут наблюдений на волне 18 см, проекция базы Радиоастрон – Паркс (Австралия) около 200 000 км. Это изображение непрерывно меняется, но его статистические параметры повторяются на соседних временных интервалах и даже при наблюдениях 18 мая 2012 г. Оси координат рисунка: по вертикали отложена (и окрашена) мощность источника, по горизонтали - частота интерференции и запаздывание сигнала.

Первые пульсарные мысли

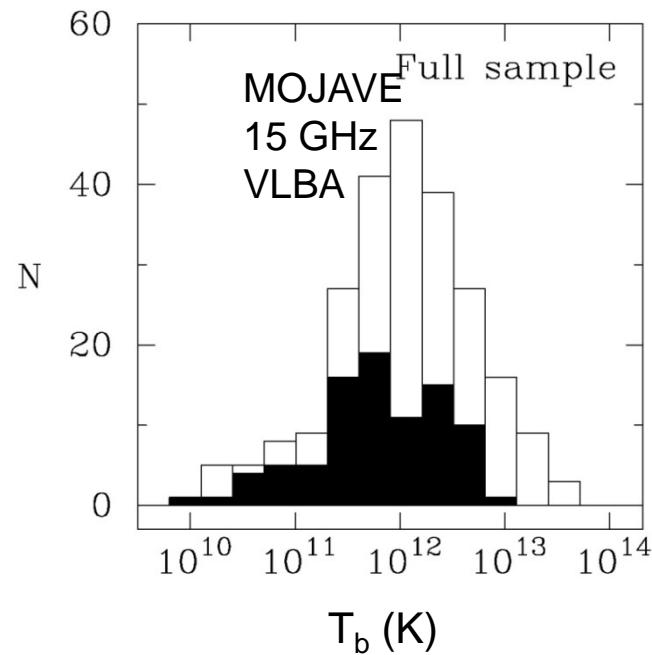
Полученные результаты по межзвездной среде требуют серьезнейшего осмысления. Возможно, существенного пересмотра модели межзвездной среды. Скорее всего, значительно изменят наше представление о структуре межзвездной среды.

Сделано предположение о наличии компактных турбулентных сгустков в межзвездной среде, которые работают как линзы и фокусируют излучение пульсаров во множество обнаруженных в интерференционной картине «иголочек».

Квазары



Обзор ядер галактик: задача

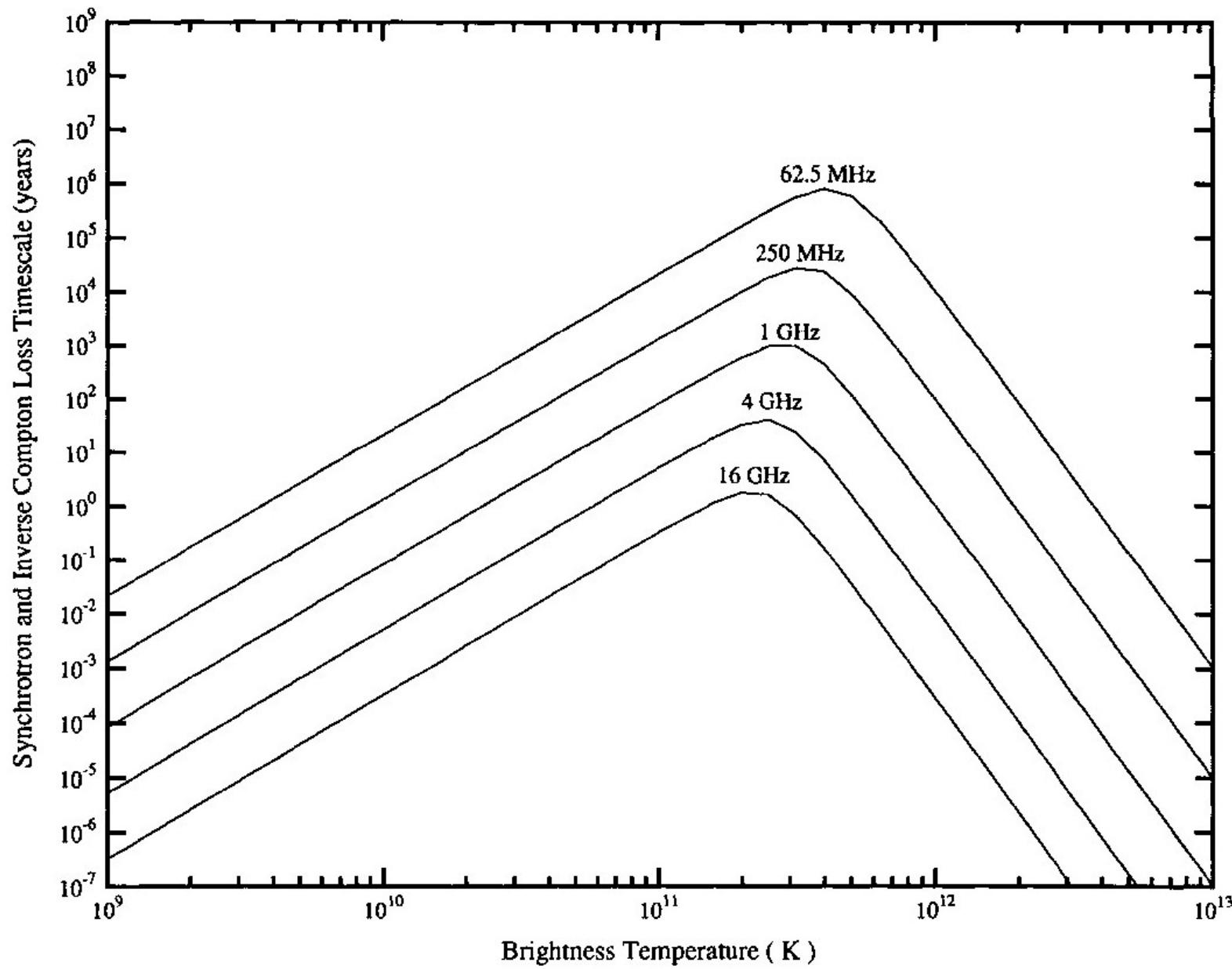


Наземное РСДБ, 2 см:
 $\text{Med } Tb = 10^{12} \text{ K}$, $\text{max } Tb$ (предел!) $= 5 \cdot 10^{13} \text{ K}$.
Результаты обзора VSOP на 6 см –
аналогичны.

При учете релятивистского усиления (для
Лоренц-фактора до **50**), предел яркости из
обратного Комптона не нарушается.
Но! Много пределов T_b .

Задача обзора яркости ядер галактик (яркостных температур):
Измерить размеры и яркость ядер галактик.
Проверить предел на обратный Комптон эффект. Возможно только с
помощью наземно-космического РСДБ. Уход на Земле на более
высокие частоты решить задачу не поможет.
Критически важно для проверки механизма излучения.

Радиационные потери



Статистика обнаружения интерференционных откликов квазаров

92 см: 2.5 ED 0235+164 (RA-Ar);

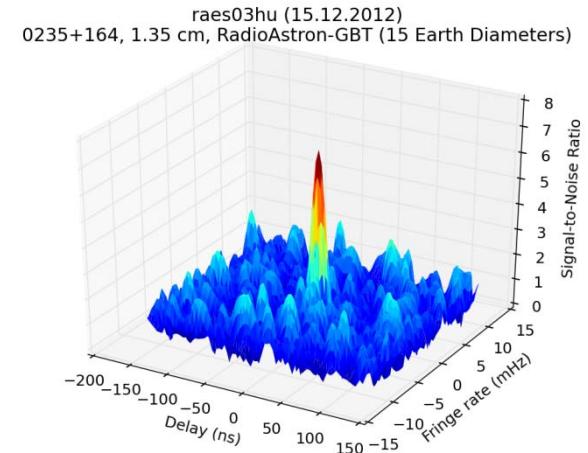
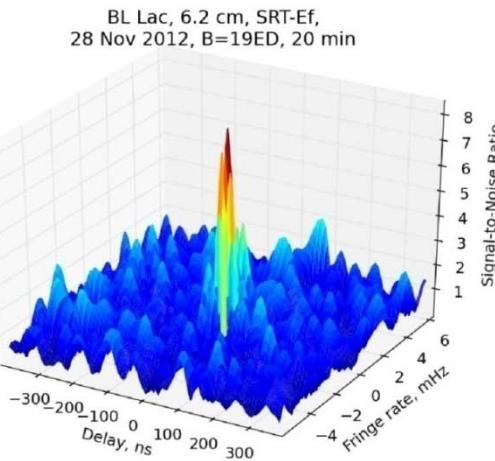
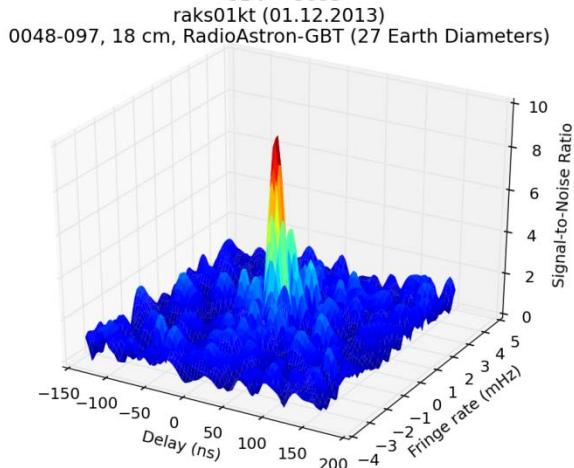
18 см: 27 ED 0048-096 (RA-GBT) – 349,000 км;

6 см: 23 ED 0716+714 (RA-Ef);

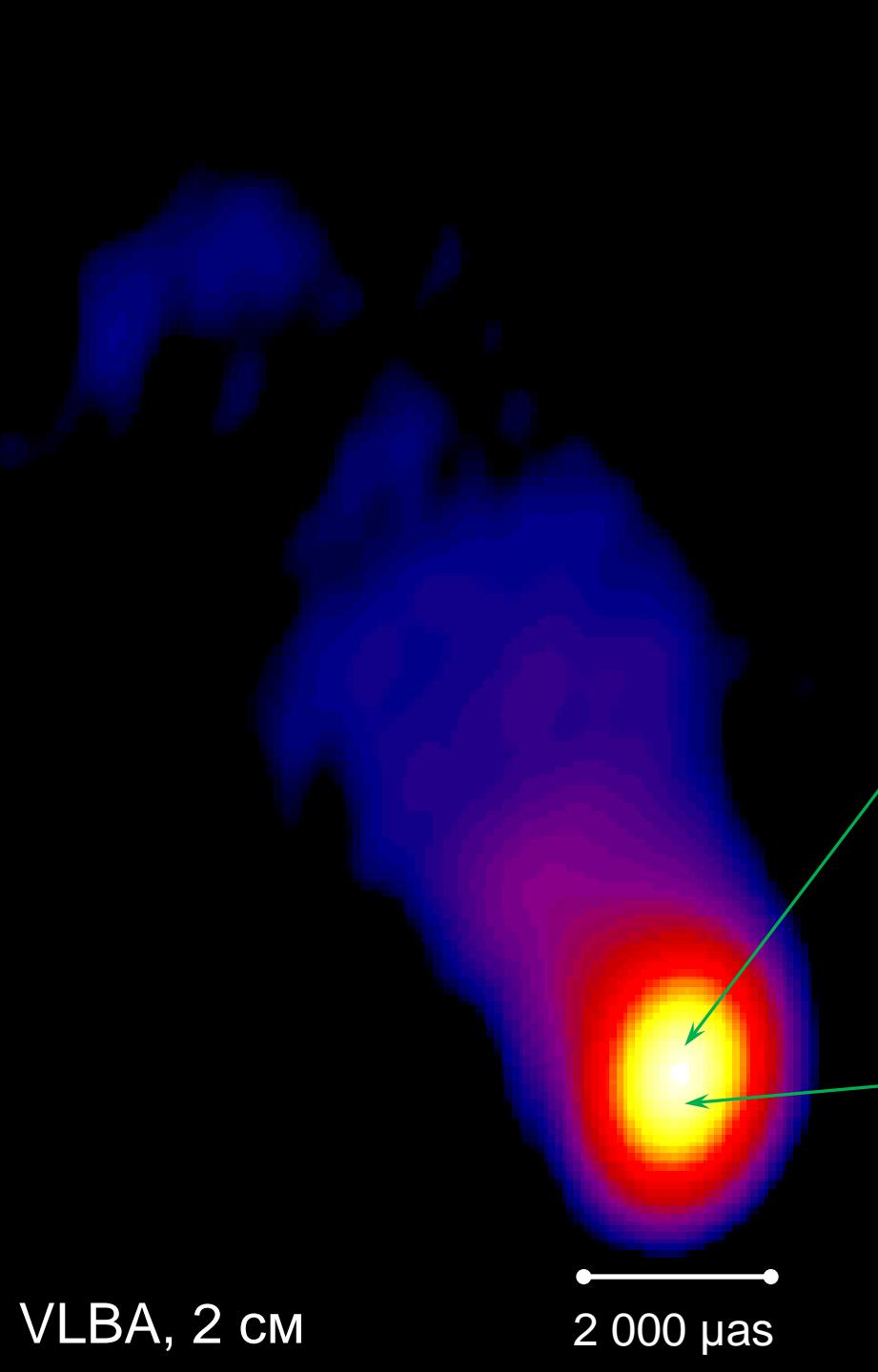
1.3 см: 15 ED 0235+164 (RA-GBT).

Абсолютный рекорд углового разрешения: 14.5 μ as;

Прокоррелировано и проанализировано 720 экспериментов,
значимый интерференционный отклик от 80 AGN найден в 270.



Квазар 0529+483



• Результаты РадиоАстрон
6.2 см
Размер ядра:
 $41\mu\text{as}$ (микросекунд дуги);
Яркостная температура:
 $3.2 \cdot 10^{13}$ К.

Результаты РадиоАстрон

➤ 18 см

Размер ядра: < 270 μ as

(микросекунд дуги);

Яркостная температура:

$\sim > 10^{14}$ K.

➤ 1.3 см

Размер ядра:

около 23 μ as (микросекунд
дуги);

рекорд углового разрешения
в мировой астрономии

Яркостная температура:

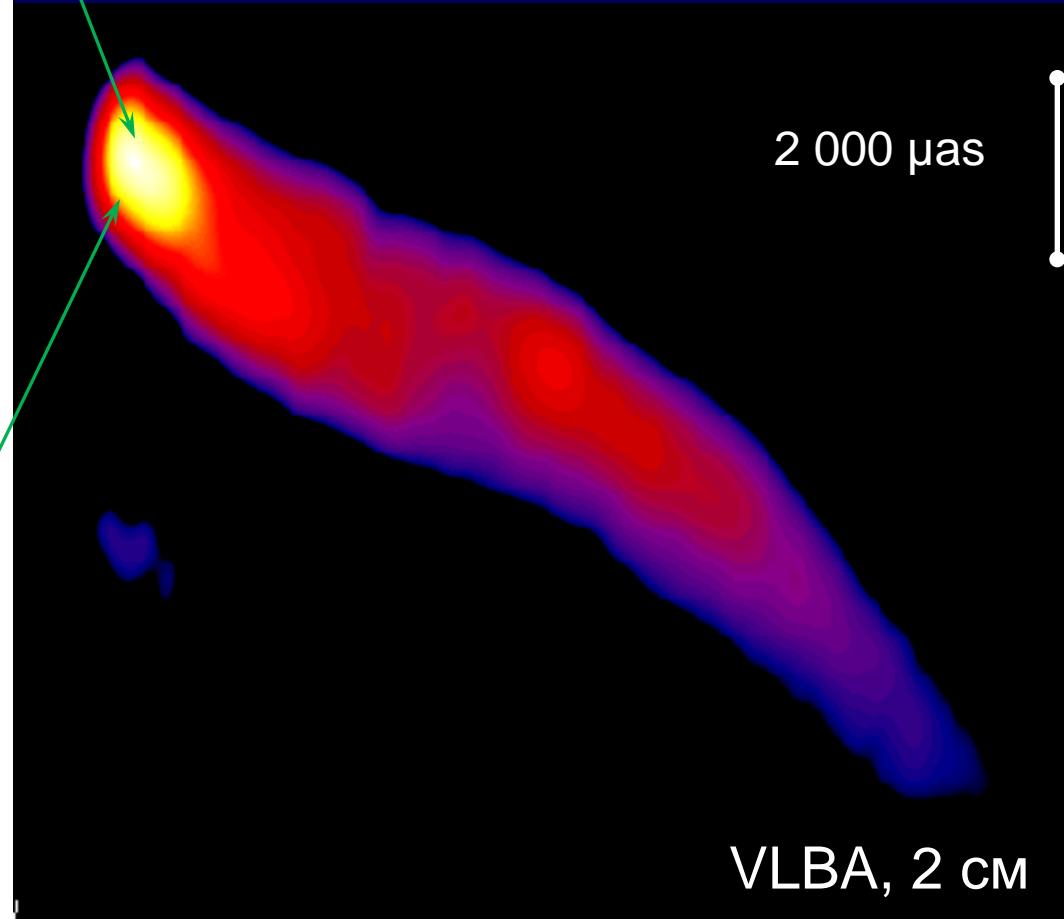
$\sim > 4 \cdot 10^{13}$ K.



Квазар 3C273

2 000 μ as

VLBA, 2 см



Обзор ядер активных галактик

предварительные выводы

- Получены детектирования на экстремальных базах до 27 диаметров Земли (апогей), с угловым разрешением до 14 микросекунд дуги около 80 ядер галактик.
- Мерцания на межзвездной среде нас “не убивают”.
- Исследуем диапазон T_b , недоступный ранее. Типичные оценки яркостной температуры ядер пока:
от 10^{13} до $\sim 10^{14}$ К. Много. Варианты объяснения:
 - ✓ Тяжелые частицы – требует очень эффективного ускорения и больших магнитных полей
 - ✓ Когерентные процессы – как?
 - ✓ Непрерывное ускорение частиц
 - ✓ Хитрая геометрия основания струи – не очень спасает
 - ✓ $\delta \sim 100$ – выше типичных оценок из РСДБ кинематики.