

# УВИДЕТЬ ЧЕРНУЮ ДЫРУ

Российский телескоп  
стал самым зорким  
глазом человечества

*Текст: Павел Котляр*

Космический участник миссии «Радиоастрон», стартовавшей год назад, закончил калибровочные испытания и приступил к научной программе. Первые же результаты показали, что миссия оправдывает все самые смелые ожидания российских астрономов. На что надеялись ученые и чего они хотели от телескопа с такой небольшой антенной, экспериментаторы рассказали «Деталям мира».

Снимок пролета «Спектра-Р»

Дальше, зорче, острее — именно так можно охарактеризовать уникальную миссию «Радиоастрон», успешный запуск которой в июле прошлого года стал знаковым событием для отечественной фундаментальной науки за последние десятилетия. Первый год работы космического участника миссии — телескопа «Спектр-Р» — показал, что российской космической промышленности все-таки удалось вывести в космос сложнейший инструмент, которому на ближайшие годы предстоит стать самым зорким глазом человечества, смотрящим в темноту Вселенной.

## ПРАВО ПЕРВОЙ НОЧИ В НАУКЕ

В проекте можно выделить два этапа. Сначала выполняется Ранняя научная программа, в рамках которой задачи исследования и данные с радиотелескопа получают отечественные и зарубежные специалисты из организаций, принимавших участие в его создании. После того как они используют свое «право первой ночи», примерно с середины 2013 года на наблюдательное время телескопа может подать заявку любой ученый любой страны. Программный комитет будет проводить экспертизу заявок, расставлять приоритеты и решать, какие задачи наиболее перспективны.

Первые регулярные наблюдения в рамках Ранней научной программы стали проводиться миссией «Радиоастрон» с февраля 2012 года. Главными целями проекта стали мощнейшие внегалактические объекты — ядра активных галактик. Предыдущие наблюдательные устройства просто не способны рассмотреть подробности их строения. Основные

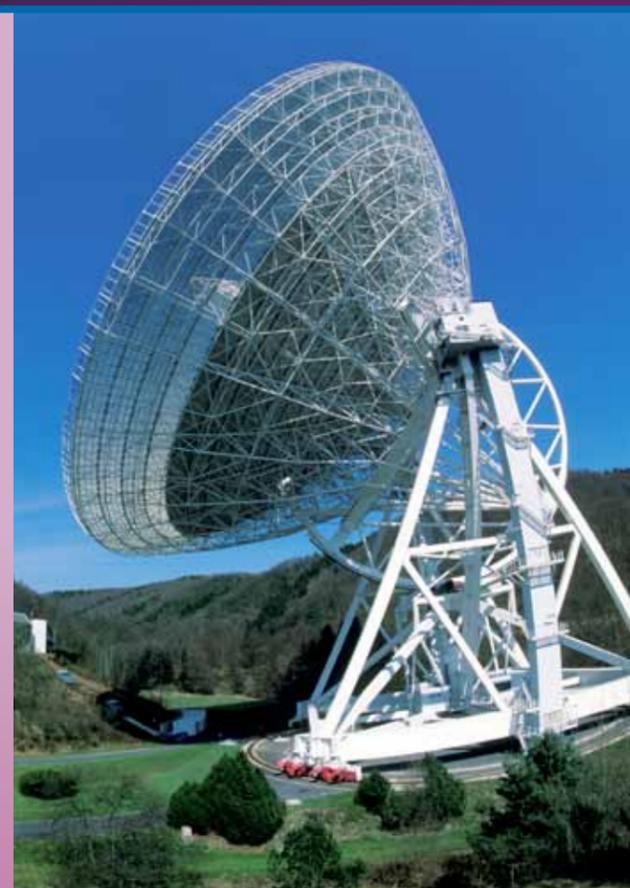
результаты Ранней научной программы касаются яркостной температуры квазаров и структуры их выбросов, строения межзвездной среды, локализации излучения нейтронных звезд и изучения кинематики областей звездообразования с высокой разрешающей способностью.

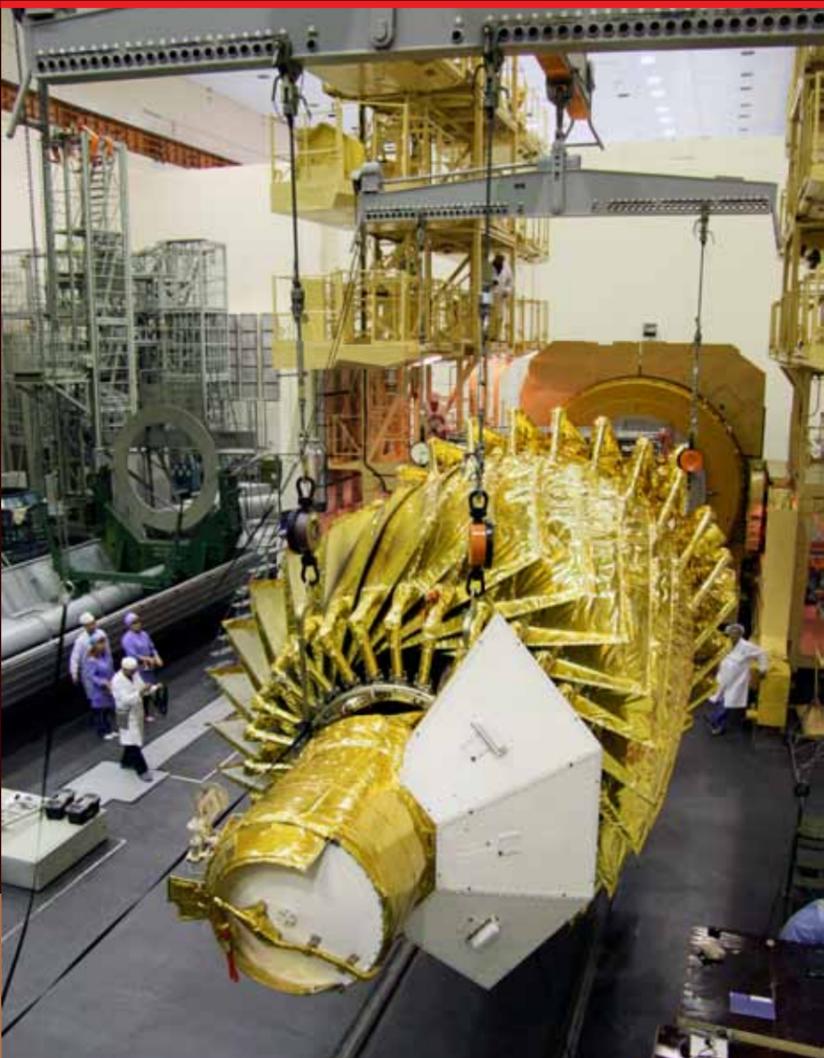
## ПЕРВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В ходе первых научных экспериментов к лету 2012 года получены интерферометрические отклики от пульсаров B0950 + 08 и B0531 + 21 (быстро вращающихся замагниченных нейтронных звезд) и от нескольких внегалактических радиоисточников.

### ЦЕЛИ МИССИИ

- Изучение структуры и физических процессов в ядрах активных галактик и квазаров, таких как релятивистские джеты, сверхмассивные черные дыры.
- Определение ограничений на космологические параметры Вселенной.
- Изучение образования звезд и планет по космическим мазерам. Изучение микроквазаров, пульсаров и межзвездной среды.





## ЧАСТОТЫ: ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ВЫБРАННЫЕ ДЛИНЫ ВОЛН

**92 сантиметра** — излучение пульсаров, мерцаний радиоволн в плазме;

**18 сантиметров** — излучение гидроксила OH;

**6 сантиметров** — оптимальная частота, на которой достигается высокая чувствительность и угловое разрешение;

**1,3 сантиметра** — излучение воды, самая низкая длина волны соответствует самому высокому угловому разрешению; практически отсутствуют мерцания.

«Пульсары излучают наиболее сильно на длинных волнах, в диапазонах «Радиоастрона» их изучать удобнее на 92 и 18 сантиметрах, — рассказал «Деталим мира» доктор физико-математических наук, заведующий отделом АКЦ ФИАН, координатор рабочей группы по пульсарам Михаил Попов. — На этих частотах в межзвездной плазме происходит сильное искажение радиоволн. Они искривляются, фокусируются и дефокусируются. Поэтому точечный объект наблюдается как неточечный, круглое пятно. Изучая это пятно, можно сделать выводы о местонахождении рассеивающей среды — ближе к Земле или около источника. Кроме того, анализируя поведение этих рассеянных лучей, можно сделать заключение и о самом объекте, даже если он для нас точечный: где находится область излучения — у самой поверхности нейтронной звезды (104 сантиметра) или у так называемого светового цилиндра (109 сантиметров)».

## ТАЙНЫ НАЧИНАЮТ РАСКРЫВАТЬСЯ

На данный момент самый интересный объект из изученных «Радиоастроном» — ядро далекой галактики OJ287. Астрономы долго изучали его с Земли, потому что обнаружили периоды и квазипериоды в излучении. Некоторые ученые интерпретируют это как проявление не одной, а двух черных дыр, вращающихся друг вокруг друга. Правда, современные общепризнанные теории не допускают тесного сосуществования черных дыр, а при некомпактном соседстве дыры могут выжить, только если одна тяжелее другой в сто и более раз. Есть и другие объяснения наблюдаемой периодичности этой странной системы. Дальнейшее изучение ее при помощи российского телескопа поможет точно установить природу этого вызывающего споры объекта, ведь наземно-космический радиоинтерферометр «Радиоастрон» выдает рекордное угловое разрешение — порядка 0,0001 угловой секунды. Оно на порядок

лучше того, что достигнуто с помощью наземных интерферометров на этой длине волны и в сотни раз лучше разрешающей силы космического телескопа им. Хаббла.

Однако, несмотря на такое высокое разрешение, открытий придется подождать. Ученые отмечают, что радиоинтерферометрия — довольно тяжелая экспериментальная область исследования, требующая много времени для обработки данных. Поэтому даже в наземных РСДБ-наблюдениях время от эксперимента до публикации может составлять от года до нескольких лет.

## СЕКРЕТЫ ДАЛЬНОЗОРКОСТИ

Пора отвлечься на конструкцию установки, обеспечившую телескопу уникальные характеристики. В оптике и в радиоастрономии угловое разрешение системы пропорционально отношению  $\lambda/D$ , где  $\lambda$  — длина волны, а  $D$  — диаметр зеркала. Поэтому гнаться за высоким разрешением можно двумя путями: сдвигаясь в коротковолновую область наблюдений и увеличивая диаметр апертур. Тем не менее астрономы держатся за радиоволны. Хотя они имеют длину волны больше, чем, например, световые, зато позволяют реализовать радиоинтерферометрию со сверхдлинной базой — РСДБ, о которой «Детали мира» подробно рассказывали в № 14. Метод заключается в объединении двух и более радиотелескопов и последующей компьютерной обработке (кросскорреляции) сигналов от каждого из них. Разнесенные телескопы наблюдают один и тот же объект одновременно, синхронизируясь при помощи атомных часов. При этом получаемое угловое



разрешение радиоинтерферометра оказывается прямо пропорционально базе — расстоянию между двумя антеннами. Так, максимально достигнутое «Радиоастроном» угловое разрешение позволило бы наблюдателю с Земли рассмотреть спичечную головку на Луне.

Простую на вид идею оказалось очень сложно реализовать технически. Кроме того, реализации эксперимента, задуманного советскими учеными еще в брежневские времена, помешал развал Советского Союза. Задержка в реализации



### РСДБ

Радиоинтерферометрия дает отдельным радиотелескопам, довольно «мутным» с точки зрения разрешения инструментам, неоценимые преимущества. Так, если один из крупнейших в мире полноповоротных радиотелескопов — 100-метровая антенна в Бонне (Германия) — имеет разрешение в 3 угловых минуты («хуже» человеческого глаза), то разрешение радиоинтерферометра с базой в

200 километров составляет уже 0,01 секунды, а сеть с базой 8000 километров способна проводить измерения с разрешением лучше 0,001 угловой секунды. Такие показатели могут достигаться лишь в сетях РСДБ из радиотелескопов, разнесенных на разные континенты, но при этом максимальная база ограничивается диаметром Земли.



## САМЫЙ-САМЫЙ

Во многом космический телескоп «Спектр-Р» имеет уникальные параметры, а примененные на нем конструкторские решения используются впервые:

- в космос выведены точные атомные часы российского производства;
- специфическая эволюционирующая орбита;
- уникальное десятиметровое зеркало на орбите со сложным механизмом раскрытия, работающее в шести диапазонах вплоть до длины волны в 1,35 сантиметра — это означает, что профиль поверхности лепестков должен быть выверен минимум в десять раз точнее этой длины волны.
- сложнейшая система передачи данных на Землю. У «Спектра-Р» ширина канала сброса научных данных на Землю — 128<sup>М</sup>мегабит в секунду! Отчасти это связано с отсутствием на борту памяти, необходимо моментально отправлять все данные на Землю.

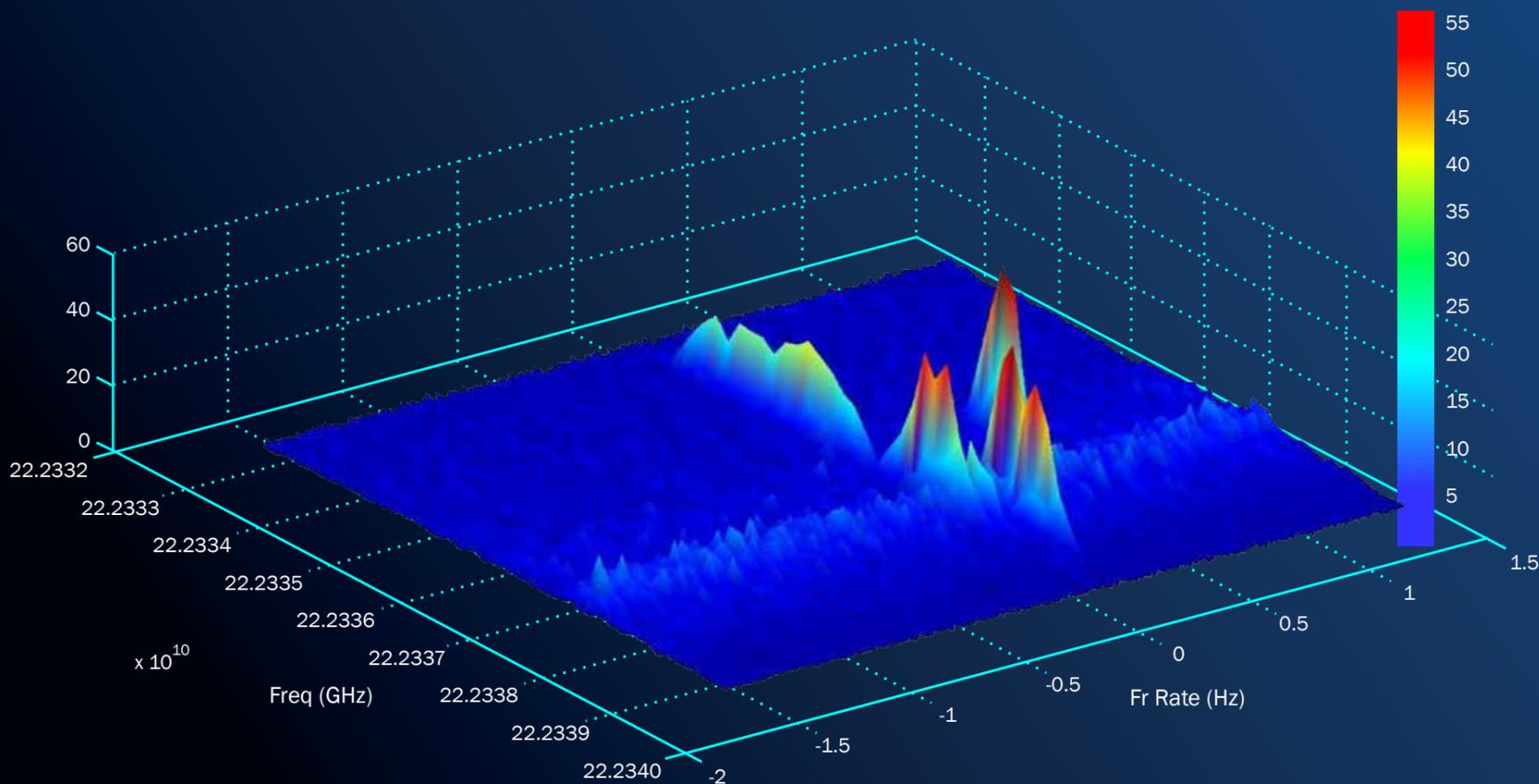
подобных грандиозных проектов всегда чревата тем, что элементная база устаревает и разработчикам приходится гнаться за прогрессом. «Мы практически перестраивали этот проект заново, — рассказал «Деталю мира» доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией АКЦ ФИАН, руководитель Ранней научной программы миссии «Радиоастрон» Юрий Ковалев. — НПО Лавочкина за последние пять лет до запуска пришлось полностью переработать и построить заново космический телескоп. Что касается научных приборов — это малозаметные приемники и радиометры, стоящие на борту, — то здесь огромный вклад внесли наши зарубежные коллеги».

## ПОТЕНЦИАЛ ДЛЯ ОТКРЫТИЙ

Юрий Ковалев рассказал «Деталю мира», что дает наблюдение за уже известными объектами с еще большей четкостью и какая новая физика скрыта за перечнем целей «Радиоастрона». По словам ученого, сегодня средства радиоастрономии не позволяют измерить яркость ультраярких и ультракомпактных объектов во Вселенной, например квазаров, из-за нашей неспособности измерить их угловые размеры. Вместо этого мы только можем оценить эту величину снизу. Стандартная модель, описывающая релятивистские джеты в активных ядрах галактик, предполагает, что излучение рождается релятивистскими электронами синхротронным механизмом. Если это так, то мы не должны ожидать от этих объектов яркости больше  $10^{13}$  кельвинов (энергетические величины в астрофизике часто измеряют в единицах температуры). «При этом теоретики предлагают и другие модели (мы их называем экстремальными), например, излучение могут вызывать не релятивистские электроны, а релятивистские протоны. Но в таком случае яркость должна оказаться в тысячу раз больше. Но проверить с Земли мы этого не можем! — пояснил Ковалев. — Поэтому тот обзор активных ядер галактик, который мы проводим с «Радиоастроном», позволит нам просто закрыть этот вопрос. Какой бы результат ни был, положительный или отрицательный, увидим мы очень высокую яркость или не увидим, мы подтвердим современное представление о физике джетов в квазарах либо скажем, что оно несостоятельно».

Изучение внутренней структуры активных ядер галактик может дать астрономам новую шкалу расстояний во Вселенной. Если сверхновые класса Ia позволяют ученым измерять расстояния во Вселенной в качестве «стандартных свечей», то протяженные объекты, имеющие одинаковые линейные

## Интерференционный отклик от мазера в области звездообразования W51



размеры, могут выступать для тех же целей в качестве «стандартных линеек». Такими линейками могут оказаться для астрономов определенные участки джетов, которые вырываются из сверхмассивных черных дыр в ядрах активных галактик — например, области у основания. Найдутся ли у джетов разных активных ядер какие-то области с одинаковым размером, которые могут стать мерилем расстояний до галактик, предстоит выяснить в ходе дальнейших наблюдений.

## КАК УВИДЕТЬ ЧЕРНУЮ ДЫРУ И ТЕМНУЮ ЭНЕРГИЮ

Большие надежды астрономы возлагают на наблюдения с беспрецедентной четкостью таких близких к нам активных ядер, как Центавр А и Дева А. Если до Девы А расстояние составляет «всего» 16 парсек, то расстояния до большинства известных активных галактик исчисляются гигапарсеками. При такой близости «Радиоастрон» способен рассмотреть области линейным размером в световые дни и недели. А это значит, что при благоприятных условиях «Радиоастрон» с его небывалым разрешением впервые сможет рассмотреть непосредственные окрестности черных дыр в центрах этих галактик и напрямую оце-

нить размеры горизонта событий — области, за которую не может выйти свет. Наблюдение «тени» черной дыры на фоне излучающего газа будет первым прямым доказательством существования этих пока формально гипотетических объектов во Вселенной.

Одним из самых ярких успехов наземной РСДБ было изучение сразу нескольких пятен мазерного излучения воды в аккреционном диске галактик.

## МЕГАМАЗЕРЫ

Вокруг некоторых далеких галактик, в центре которых расположены сверхмассивные черные дыры, окруженные аккреционным диском, наблюдаются огромные облака воды. Некоторые из них довольно плотные и излучают «мазерным» вынужденным механизмом в отдельных линиях воды. Изучение мазеров привлекательно тем, что наблюдение этих линий сразу дает ученым определение скорости движения этих облаков вокруг черных дыр.



Тогда по скоростям пятен удалось из кеплеровских законов вывести массу центральной черной дыры. Зная линейное расстояние от облаков до черных дыр, а также определив из интерферометрических наблюдений их орбиты в угловых величинах, ученые смогут точно измерять расстояния до этих мазеров. «В рамках наземного проекта Megamaster Cosmology Project ученые находят подобные галактики, измеряют массы сверхмассивных черных дыр, измеряют стандартную линейку, расстояния и благодаря этому могут уточнить постоянную Хаббла. А оттуда практически прямой путь в темную энергию!» — рассказал Ковалев. «Радиоастрон», пронаблюдав хотя бы несколько из подобных объектов, будет в состоянии с еще большей точностью измерить эти расстояния, а ведь в современной космологии борьба идет именно за точность измерений.



## ИСТОРИЯ ПРОЕКТА

Идея вывести один из элементов РСДБ за пределы Земли и на порядок увеличить разрешающую способность витала в головах ученых уже давно. Эту задачу и предстояло решить миссии «Радиоастрон»,

космический элемент которой (аппарат «Спектр-Р») был запущен на вытянутую орбиту с апогеем (максимальным удалением от Земли) порядка 350 000 километров. Проект стал в широком смысле международным, и обусловлено это двумя причинами.

## Сеть оптических инструментов НСОИ АФН





## НАЗЕМНЫЕ ПЛЕЧИ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА

Наземными элементами «Радиоастро-на» стали крупнейшие радиотелескопы мира. К ним, в первую очередь, относится 300-метровый радиотелескоп-легенда «Аресибо» (США), 100-метровый телескоп Грин-Бэнк (США), 100-метровая тарелка в Эффельсберге (Германия), 70-метровый инструмент в Евпатории и другие. В России вести научные наблюдения помогают три 32-метровых телескопа системы «Квазар» Института прикладной астрономии РАН (Бадары, Светлое, Зеленчукская).

Во-первых, важнейшие чувствительные приборы на борту космического аппарата, так называемые высокочувствительные радиометры, создавались и испытывались в тесной кооперации с зарубежными фирмами. Всего на борту «Спектра-Р» имеется четыре приемника радиоизлучения, работающих на длинах волн 92, 18, 6 и 1,35 сантиметра. Так, приемник и маломощный усилитель на 6 сантиметров изначально были построены в Германии и Голландии, однако впоследствии они устарели и были перестроены российской промышленностью. В создании других приемников принимали участие такие страны, как Индия, Австралия, Финляндия и США.

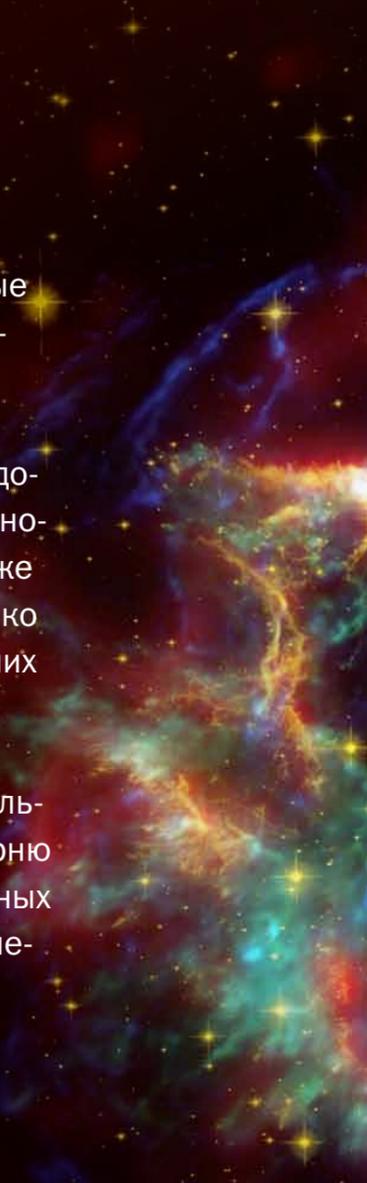
Во-вторых, уже упомянутая идеология эксперимента предполагает использование в качестве наземных элементов интерферометра крупнейшие радиотелескопы мира. Стоит отметить, что осуществление миссии «Радиоастрон» высветило весьма серьезную проблему: у России просто нет полноповоротных радиотелескопов класса 70–100 метров, способных вести радиоинтерферометрические наблюдения в качестве наземных элементов подобных астрономических проектов. А для «Радиоастро-на» крайне важны именно такие, ведь диаметр космического телескопа всего 10 метров.

## ВЫВОД НА ОРБИТУ: ПЕРВЫЕ ТРУДНОСТИ

Проект, реализация которого тянулась так долго, возродившись из забвения, заставил инженеров и ученых понервничать в первые же дни запуска. Ноухау российских ученых и российской промышленности, уникальная десятиметровая антенна из 27

лепестков, начав раскрываться на пятый день полета, преподнесла первый сюрприз. Автоматика остановила процесс, оставив лепестки незафиксированными в раскрытом положении. Недораскрытие телескопа могло иметь серьезные последствия, ведь инструмент не смог бы работать в полную силу. Поэтому специалистам НПО Лавочкина и АКЦ ФИАН пришлось пережить несколько, мягко говоря, нервных часов. Несколько попыток прямого движения лепестков и реверса не дали результата. Тогда аппарат повернули вокруг оси для равномерного прогрева элементов космического телескопа под лучами Солнца. После этого трюка антенну удалось раскрыть полностью, лепестки — зафиксировать, а участники программы смогли выдохнуть.

Первый месяц работы выполнялась проверка летных испытаний бортовых систем космической платформы «Навигатор», был включен водородный стандарт частоты. В начале осени начались пробные наведения телескопа с целью юстировки и проверки работы приемников на хорошо известные радиосточники, такие, как Кассиопея-А, Крабовидная туманность и Луна. Единственным выявленным недостатком в работе оказалось снижение чувствительности на длине волны 1,35 сантиметра в три раза ниже запланированной. Ученые рассматривают несколько причин, которые могли привести к этому. Одна из них — искажение формы зеркала из-за значительного градиента температур по его поверхности. Однако эти потери нивелируются тем, что общая чувствительность радиоинтерферометра пропорциональна корню из произведения площадей космического и наземных телескопов. Так, сочетание космического радиотелескопа со 100-метровым на





## МНОГОХОДОВАЯ АСТРОНОМИЯ

Необходимое условие работы в режиме интерференции — согласованность аппарата «Спектр-Р» с наземными телескопами, станциями слежения, центром управления полетом, центром обработки научной информации и другими техническими службами. Схема проведения научных наблюдений в режиме интерферометра выстроена по одной схеме. Космический телескоп нацеливается по команде с Земли на заранее выбранный объект. Вся научная информация с него передается через остронаправленную антенну на наземную станцию слежения — радиотелескоп диаметром 22 метра в подмосковном Пушино. Одновременно наблюдение за источником ведется сетью наземных телескопов, перечень которых определяется текущей научной задачей. Полученные данные затем передаются по высокоскоростным линиям связи в коррелятор, построенный в АКЦ ФИАН на базе вычислительного кластера с производительностью 1 терафлопс в секунду. Управление телескопом осуществляется при помощи двух российских командно-измерительных станций — в Медвежьих озерах (Московская область) и в Уссурийске.

земным радиотелескопом эквивалентно по чувствительности системе двух 30-метровых телескопов.

После проверки и отладки всех систем в ноябре 2011 года в ходе наблюдения за квазаром 0212 + 735 на длине волны 18 сантиметров был впервые обнаружен интерферометрический отклик (так называемые лепестки) на наземно-космических базах. На Земле радиотелескопами, получившими этот первый результат вместе со «Спектром-Р», были 32-метровые станции российской системы «Квазар-КВО», 70-метровое зеркало под Евпаторией и 100-метровый телескоп в Эффельсберге под Бонном. В конце января 2012 года на рекордном удалении от Земли (300 000 километров) были проведены интерферометрические наблюдения пульсара B0950-08 в диапазоне 92 сантиметра с участием крупнейшего наземного телескопа в Аресибо.

После этой пристрелки можно было, наконец, перейти к первым научным наблюдениям, о первых результатах которых мы рассказали выше.





## ОРБИТА

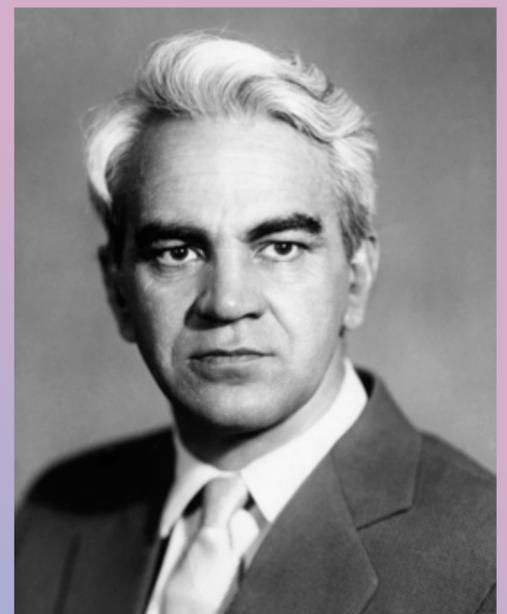
Отличительной особенностью миссии «Радиоастрон» стала нетипичная для большинства исследовательских аппаратов эллиптическая орбита. Она подобрана так, чтобы, едва не «дотягиваясь» до орбиты Луны, постоянно эволюционировать под воздействием естественного спутника Земли. Это условие было изначальным требованием разработчиков, так как эволюция орбиты позволяет телескопу охватить широчайший диапазон координат источников. Расчет и прогнозирование такой очень нелинейной, как говорят ученые, системы представляет особо сложную прикладную математическую задачу. Об особенностях математической реконструкции и прогнозирования орбиты «Спектра-Р» «Детали мира» рассказал младший научный сотрудник ИПМ имени Келдыша Михаил Захваткин.

На положение, скорость и ускорение аппарата, находящегося на такой орбите, влияют сразу несколько факторов, которые необходимо отслеживать ежедневно. «Как на любой спутник, на него влияют, помимо центрального поля Земли, в первую очередь Луна и Солнце, сферические гармоники Земли (неравномерное распределение массы планеты. — ДМ), твердые приливы на Земле, океанические приливы», — пояснил математик. Кроме того, отдельное несимметричное воздействие на аппарат оказывает «зонтик» его антенны. В отличие от большинства компактных спутников, она создает дополнительную «парусность», увеличивает соотношение площади к массе и позволяет излучению Солнца закручивать аппарат и придавать ему лишней им-

пульс. При этом аппарат не сохраняет свою ориентацию, так что положение антенны необходимо все время отслеживать и вносить корректировки. Чтобы компенсировать моменты, создаваемые солнечным ветром, на радиотелескопе постоянно раскручиваются специальные маховики, которые примерно раз в сутки необходимо разгружать: останавливать и компенсировать излишки вращательного момента

## ХРАНИТЕЛИ ОРБИТЫ

Еще с королёвских времен расчетами орбиты космических аппаратов и «Спектра-Р» в частности занимается Баллистический центр Института прикладной математики имени Келдыша. Он создан по предложению Сергея Королева и Мстислава Келдыша в 1965 году и занимается баллистико-навигационным обеспечением полетов пилотируемых и автоматических кораблей. В его функции входит реконструкция и прогнозирование орбит космических аппара-



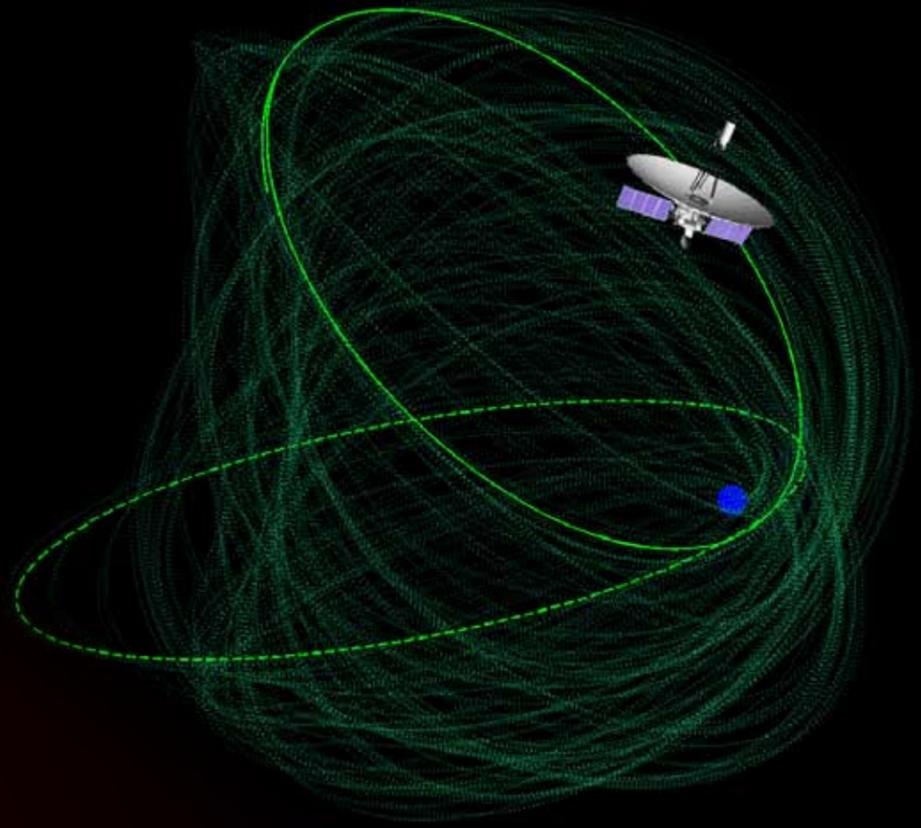
тов. По подсчетам центра, баллистическое время существования «Спектра-Р», то есть время, за которое атмосфера Земли не успеет его достаточно затормозить, составляет десятки лет.

короткими включениями реактивных двигателей, на что в сутки тратится примерно десять грамм топлива. Каждое такое включение не только останавливает вращение аппарата, но и увеличивает его скорость на пять-десять миллиметров в секунду, что также необходимо учитывать.

За столь сложно меняющейся орбитой аппарата специалисты на Земле следят сразу несколькими способами. Первый — радиолокация станциями в Медвежьих озерах и Уссурийске. Наземные станции подают на аппарат сигнал, принимают ответный, и по его задержке определяется расстояние до него. Второй метод, помогающий уточнять элементы орбиты «Спектра-Р», — наземные астрометрические наблюдения. Они проводятся как астрономами-любителями, так и при помощи Научной сети оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (НСОИ АФН), телескопы которой расположены в разных странах мира. В рамках этой сети наблюдения радиотелескопа проводились в Китабе, Благовещенске, Научном, Ужгороде, Краснодаре, Мондах, Евпатории, Нью-Мексико, Кироводске и Мильково. В зависимости от положения на орбите блеск «Спектра-Р» меняется в пределах 11-17 звездных величин (гораздо ниже порога чувствительности глаза). Оптические измерения помогают специалистам определить плоскость вращения аппарата, которая эволюционирует очень быстро: угол между плоскостями соседних витков может достигать нескольких градусов. «Эти измерения очень гармонично дополнили радиоизмерения. Они и сейчас нам продолжают сильно помогать», — считает Захваткин.

## Эволюция орбиты

Специально для читателей «Деталей мира» в баллистическом центре проиллюстрировали эволюцию орбиты телескопа на протяжении нескольких лет.



**сплошная линия** — орбита в сентябре 2011 года;  
**штрихованная линия** — орбита в апреле 2018 года;  
**остальные** — траектория с сентября 2011 по апрель 2012 года.





Радиосигналы, передаваемые остронаправленной антенной телескопа, могут также задавать частоту от водородных часов на борту телескопа. Изучая частоту полученного на станции в Пушино сигнала, ученые по эффекту Доплера могут определить мгновенную скорость аппарата по отношению к станции. И, наконец, очень точным источником орбитальной информации стали эпизодические эксперименты по лазерной локации радиотелескопа. Для этого на борту аппарата установлены специальные уголкового отражатели, аналогичные тем, что оставлены на Луне советскими и американскими миссиями. Впервые провести лазерную локацию телескопа удалось французской обсерватории Observatoire de la Côte d'Azur, позже — российскому военному лазерному локатору контроля космического пространства в Карачаево-Черкесии.

Так как солнечные лучи ни в коем случае не должны попадать в саму десятиметровую антенну телескопа (чтобы не повредить чувствительную радиоаппаратуру), корабль ориентируют так, что отражатели далеко не всегда смотрят на Землю. Кроме того, проводить лазерную локацию с Земли часто мешают погодные условия. Все перечисленные средства контроля сегодня позволяют определять местонахождение радиотелескопа с точностью примерно 500 метров. Эта немалая, на первый взгляд, погрешность, во-первых, лежит в пределах технического задания, во-вторых, не мешает проведению интерферометрических наблюдений, так как для них более важна точность определения скорости аппарата в момент измерений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ОЖИДАНИЯ И НЕОЖИДАННОСТИ

Проект «Радиоастрон» объединил совершенно разнообразные группы исследователей по всему миру, начиная от космологов и инженеров-конструкторов и заканчивая математиками и астрономами-любителями, дав им пищу для интереснейших прикладных и теоретических задач. И самые ранние

научные наблюдения продемонстрировали способность этого телескопа вглядываться в наиболее интересные объекты во Вселенной с небывалой четкостью. «Во-первых, миссия даст нам намного более глубокое понимание физики релятивистских джетов в релятивистских ядрах. Во-вторых, мы попытаемся подойти к непосредственной окрестности центральных черных дыр. И, в-третьих, «сделать» космологию, если повезет», — заключил Ковалев.

По мнению ученых, то, что «Радиоастрон» на ближайшие пять лет станет самым острым оком человечества, смотрящим во Вселенную, может привести нас к открытиям, еще даже не предсказанным наукой: «Самые большие ожидания людей обычно связаны с неожиданными событиями, — пояснил Ковалев «Деталим мира». — У «Радиоастрона» очень высок потенциал на открытия. Приятно решить запланированную задачу, но если телескоп сможет открыть что-то неожиданное и это окажется принципиально важным для науки — это будет действительно здорово. «Радиоастрон» такой шанс имеет, и я очень надеюсь, что мы сможем им воспользоваться». ДМ