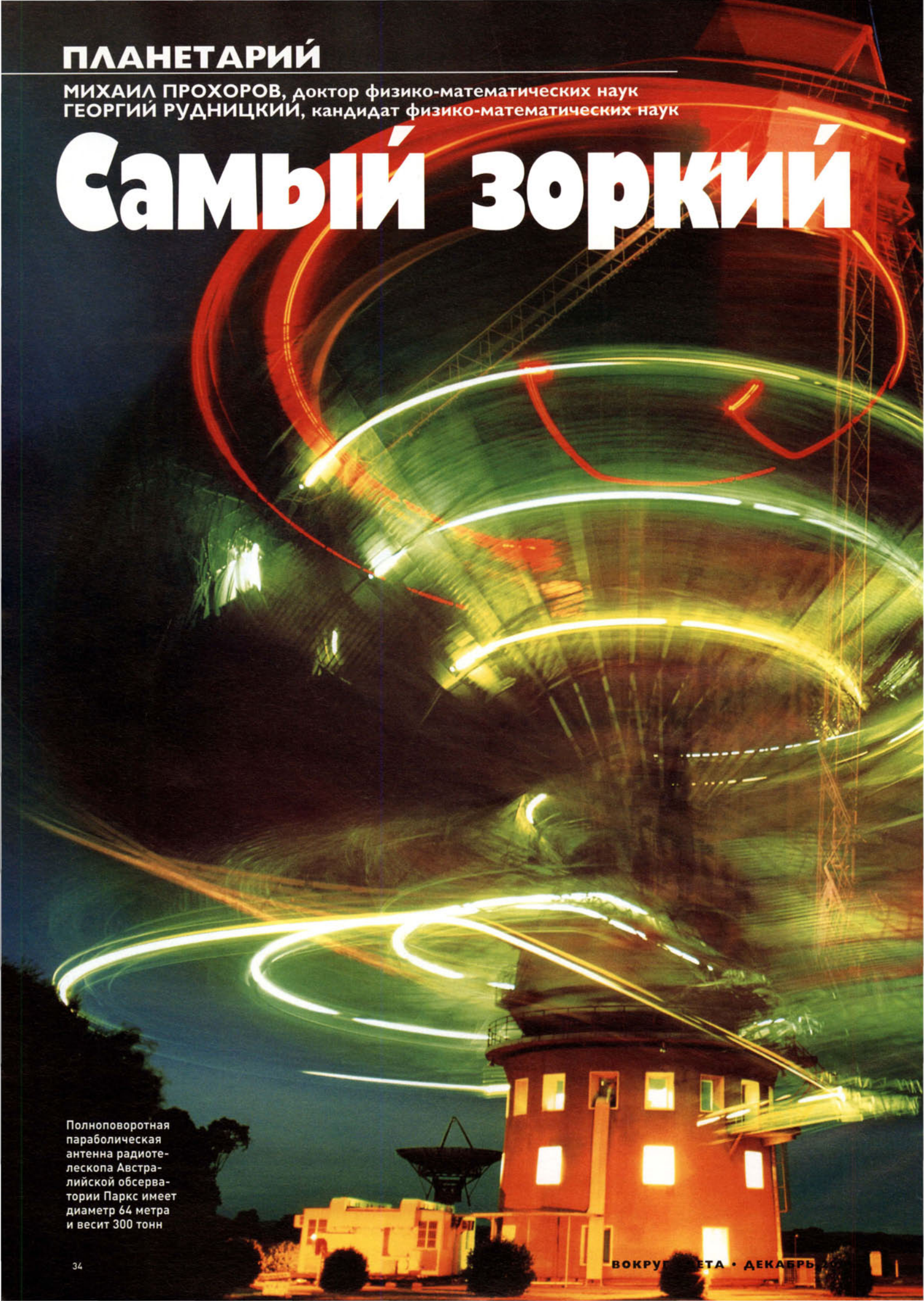
МИХАИЛ ПРОХОРОВ, доктор физико-математических наук
ГЕОРГИЙ РУДНИЦКИЙ, кандидат физико-математических наук

Самый зоркий



Полноповоротная параболическая антенна радиотелескопа Австралийской обсерватории Паркс имеет диаметр 64 метра и весит 300 тонн

телескоп

Современные радиотелескопы позволяют исследовать Вселенную в таких подробностях, которые еще недавно находились за пределами возможного не только в радиодиапазоне, но и в традиционной астрономии видимого света. Объединенные в единую сеть инструменты, расположенные на разных континентах, позволяют заглянуть в самую сердцевину радиогалактик, квазаров, молодых звездных скоплений, формирующихся планетных систем. Радиоинтерферометры со сверхдлинными базами в тысячи раз превзошли по «зоркости» самые крупные оптические телескопы. С их помощью можно не только отслеживать перемещение космических аппаратов в окрестностях далеких планет, но и исследовать движения коры нашей собственной планеты, в том числе непосредственно «почувствовать» дрейф материков. На очереди космические радиоинтерферометры, которые позволят еще глубже проникнуть в тайны Вселенной.

Земная атмосфера прозрачна не для всех видов электромагнитного излучения, приходящего из космоса. В ней есть только два широких «окна прозрачности». Центр одного из них приходится на оптическую область, в которой лежит максимум излучения Солнца. Именно к нему в результате эволюции адаптировался по чувствительности человеческий глаз, который воспринимает световые волны с длиной от 350 до 700 нанометров. (На самом деле это окно прозрачности даже немного шире — примерно от 300 до 1 000 нм, то есть захватывает ближний ультрафиолетовый и инфракрасный диапазоны). Однако радужная полоска видимого света — лишь малая доля богатства «красок» Вселенной. Во второй половине XX века астрономия стала поистине всеволновой. Достижения техники позволили астрономам вести наблюдения в новых диапазонах спектра. С коротковолновой стороны от видимого света лежат ультрафиолетовый, рентгеновский и гамма-диапазоны. По другую сторону располагаются инфракрасный, субмиллиметровый и радиодиапазон. Для каждого из этих диапазонов есть астрономические объекты, которые именно в нем проявляют себя наиболее рельефно, хотя в оптическом излучении они, может быть, и не представляют собой ничего выдающегося, так что астрономы до недавнего времени их просто не замечали.

Один из наиболее интересных и информативных диапазонов спектра для астрономии — радиоволны. Излучение, которое регистрирует наземная радиоастрономия, проходит через второе и гораздо более широкое окно прозрачности земной атмосферы — в диапазоне длин волн от 1 мм до 30 м. Ионосфера Земли — слой ионизованного газа на высоте около 70 км — отражает в космос все излучение на волнах длиннее 30 м. На волнах короче 1 мм космическое излучение полностью «съедают» молекулы атмосферы (главным образом кислород и водяной пар).

Главная характеристика радиотелескопа — его диаграмма направленности. Она показывает чувствительность инструмента к сигналам, приходящим с разных направлений в пространстве. Для «классической» параболической антенны диаграмма направленности состоит из главного лепестка, имеющего вид конуса, ориентированного по оси параболоида, и нескольких гораздо (на порядки) более слабых боковых лепестков. «Зоркость» радиотелескопа, то есть его угловое разрешение, определяется шириной главного лепестка диаграммы направленности. Два источника на небе, которые вместе попадают в раствор этого лепест-►

ка, сливаются для радиотелескопа в один. Поэтому ширина диаграммы направленности определяет размер самых мелких деталей небесного радиоисточника, которые еще можно различить по отдельности.

Универсальное для телескопостроения правило гласит, что разрешающая способность антенны определяется отношением длины волны к диаметру зеркала телескопа. Поэтому для увеличения «зоркости» телескоп должен быть побольше, а длина волны — поменьше. Но как назло радиотелескопы работают с самыми длинными волнами электромагнитного спектра. Из-за этого даже огромные размеры зеркал не позволяют добиться высокой разрешающей способности. Не самый крупный современный оптический телескоп с диаметром зеркала 5 м может различить звезды на расстоянии всего 0,02 угловой секунды. Невооруженным глазом видны детали около одной минуты дуги. А радиотелескоп диаметром 20 м на волне 2 см дает разрешение еще в три раза хуже — около 3 угловых минут. Снимок участка неба, сделанный любительским фотоаппаратом, содержит больше деталей, чем карта радиоизлучения той же области, полученная одиночным радиотелескопом.

Широкая диаграмма направленности ограничивает не только остроту зрения телескопа, но и точность определения координат наблюдаемых объектов. Между тем точные координаты нужны для сопоставления наблюдений объекта в разных диапазонах электромагнитного излучения — это непременное требование современных астрофизических исследований. Поэтому радиоастрономы всегда стремились к созданию как можно более крупных антенн. И, как ни удивительно, радиоастрономия в итоге намного обогнала по разрешению оптическую.

РЕКОРДСМЕНЫ В ОДИНОЧНОМ РАЗРЯДЕ

Полноповоротные параболические антенны — аналоги оптических телескопов-рефлекторов — оказались самыми гибкими в работе из всего многообразия радиоастрономических антенн. Их можно направлять в любую точку неба, следить за радиоисточником — «копить сигнал», как говорят радиоастрономы, — и тем самым повышать чувствительность телескопа, его способность выделять на фоне всевозможных шумов гораздо более слабые сигналы космических источников. Первый крупный полноповоротный параболоид диаметром 76 м был построен в 1957 году в британской обсерватории Джодрелл-Бэнк. А сегодня тарелка крупнейшей в мире подвижной антенны в обсерватории Грин-Бэнк (США) имеет размеры 100 на 110 м. И это практически предел для одиночных подвижных радиотелескопов. Увеличение диаметра имеет три важных следствия: два хороших и одно плохое. Во-первых, самое важное для нас — пропорционально диаметру возрастает угловое разрешение. Во-вторых, растет чувствительность, причем гораздо быстрее, пропорционально площади зеркала, то есть квадрату диаметра. И, в-третьих, еще быстрее увеличивается стоимость, которая в случае зеркального телескопа (как оптического, так и радио) примерно пропорциональна кубу диаметра его главного зеркала.

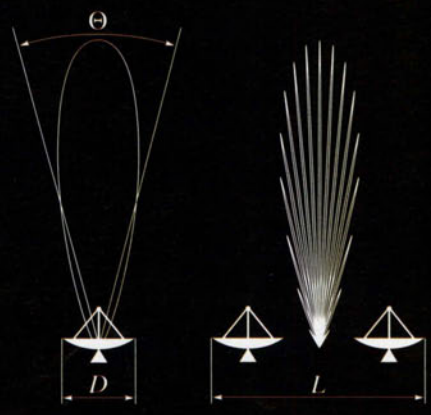
У телескопа обсерватории Аресибо в Пуэрто-Рико — самое большое в мире неподвижное цельное зеркало диаметром 305 м. Над сферической чашей на тросах висит конструкция с приемным оборудованием массой 800 тонн. По периметру зеркало окружено металлической сеткой, которая защищает телескоп от радиоизлучения земной поверхности

Главные трудности связаны с деформациями зеркала под действием силы тяжести. Чтобы зеркало телескопа четко фокусировало радиоволны, отклонения поверхности от идеальной параболической не должны превышать одной десятой от длины волны. Такая точность легко достигается для волн длиной несколько метров или дециметров. Но на коротких сантиметровых и миллиметровых волнах требуемая точность составляет уже десятые доли миллиметра. Из-за деформаций конструкции под собственным весом и ветровых нагрузок практически невозможно создать полноповоротный параболический телескоп диаметром более 150 м. Крупнейшая неподвижная тарелка диаметром 305 м построена в обсерватории Аресибо, Пуэрто-Рико. Но в целом эпоха гигантомании в строительстве радиотелескопов подошла к концу. В Мексике на горе Сьерра-Негра, на высоте 4 600 метров, завершается строительство 50-метровой антенны для работы в диапазоне миллиметровых волн. Возможно, это последняя большая одиночная антенна, создающаяся в мире.

Для того чтобы разглядеть детали строения радиоисточников, нужны другие подходы, в которых нам и предстоит разобраться.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Радиоволны, испускаемые наблюдаемым объектом, распространяются в пространстве, порождая периодические изменения электрического и маг-



У диаграммы направленности параболического телескопа один основной лепесток. Его раствор (Θ) обратно пропорционален диаметру зеркала *D*. У интерферометра лепестков много, но они гораздо уже, их раствор уменьшается с ростом расстояния *L* между антеннами

Времена гигантомании в строительстве радиотелескопов уходят в прошлое. Наступает эпоха радиоинтерферометров

нитного поля. Параболическая антенна собирает упавшие на нее радиоволны в одной точке — фокусе. Когда через одну точку проходит несколько электромагнитных волн, они интерферируют, то есть их поля складываются. Если волны приходят в фазе — они усиливают друг друга, в противофазе — ослабляют, вплоть до полного нуля. Особенность параболического зеркала как раз в том, что все волны от одного источника приходят в фокус в одной фазе и усиливают друг друга максимально возможным образом! На этой идее основано функционирование всех зеркальных телескопов.

В фокусе возникает яркое пятно, и здесь же обычно помещают приемник, который замеряет суммарную интенсивность излучения уловленного в пределах диаграммы направленности телескопа. В отличие от оптической астрономии, радиотелескоп не может сделать фотографию участка неба. В каждый момент он фиксирует излучение, приходящее только с одного направления. Грубо говоря, радиотелескоп работает как однопиксельный фотоаппарат. Для построения изображения приходится сканировать радиоисточник точка за точкой. (Впрочем, строящийся в Мексике миллиметровый радиотелескоп имеет в фокусе матрицу радиометров и «однопиксельным» уже не является.)

КОМАНДНАЯ ИГРА

Однако можно поступить и по-другому. Вместо того чтобы сводить все лучи в одну точку, мы можем измерить и записать колебания электрического поля, порождаемые каждым из них на поверхности зеркала (или в другой точке, через которую проходит тот же луч), а затем «сложить» эти записи в компьютерном устройстве обработки, учтя фазовый сдвиг, соответствующий расстоянию, которое каждой из волн оставалось пройти до воображаемого фокуса антенны. Прибор, действующий по этому принципу, называется интерферометром, в нашем случае — радиоинтерферометром.

Интерферометры избавляют от необходимости строить огромные цельные антенны. Вместо этого можно расположить рядом друг с другом десятки, сотни и даже тысячи антенн и объединять принятые ими сигналы. Такие телескопы называются синфазными решетками. Однако проблему «зоркости» они все же не решают — для этого нужно сделать еще один шаг.

Как вы помните, с ростом размера радиотелескопа его чувствительность растет гораздо быстрее, чем разрешающая способность. Поэтому мы быстро оказываемся в ситуации, когда мощности регистрируемого сигнала более чем достаточно, а углового разрешения катастрофически не хватает. И тогда возникает вопрос: «Зачем нам сплошная решетка антенн? Нельзя ли ее проредить?» Оказалось, что можно! Эта идея получила название «синте-►

Тарелка диаметром 25 метров и весом 240 тонн в долине Оуэнс, США, — один из 10 инструментов американской сети РСДБ

SPL/EAST NEWS (x3)

Угловое разрешение межконтинентальных систем РСДБ на три порядка выше, чем у лучших оптических телескопов

за апертуры», поскольку из нескольких отдельных независимых антенн, размещенных на большой площади, «синтезируется» зеркало гораздо большего диаметра. Разрешение такого «синтетического» инструмента определяется не диаметром отдельных антенн, а расстоянием между ними — базой радиоинтерферометра. Конечно, антенн должно быть по крайней мере три, причем их не следует располагать вдоль одной прямой. В противном случае разрешение радиоинтерферометра получится крайне неоднородным. Высоким оно окажется только в направлении, вдоль которого разнесены антенны. В поперечном же направлении разрешение попрежнему будет определяться размером отдельных антенн.

По этому пути радиоастрономия стала развиваться еще в 1970-х годах. За это время был создан ряд крупных многоантенных интерферометров. У некоторых из них антенны неподвижны, у других могут перемещаться по поверхности земли, чтобы проводить наблюдения в разных «конфигурациях». Такие интерферометры строят «синтезированные» карты радиоисточников с гораздо более высоким разрешением, чем одиночные радиотелескопы: на сантиметровых волнах оно достигает 1 угловой секунды, а это уже сравнимо с разрешением оптических телескопов при наблюдении сквозь атмосферу Земли.

Самая известная система такого типа — «Очень большая решетка» (Very Large Array, VLA) — построена в 1980 году в Национальной радиоастрономической обсерватории США. Ее 27 параболических антенн каждая диаметром 25 м и весом 209 тонн перемещаются по трем радиальным рельсовым путям и могут удаляться от центра интерферометра на расстояние до 21 км.

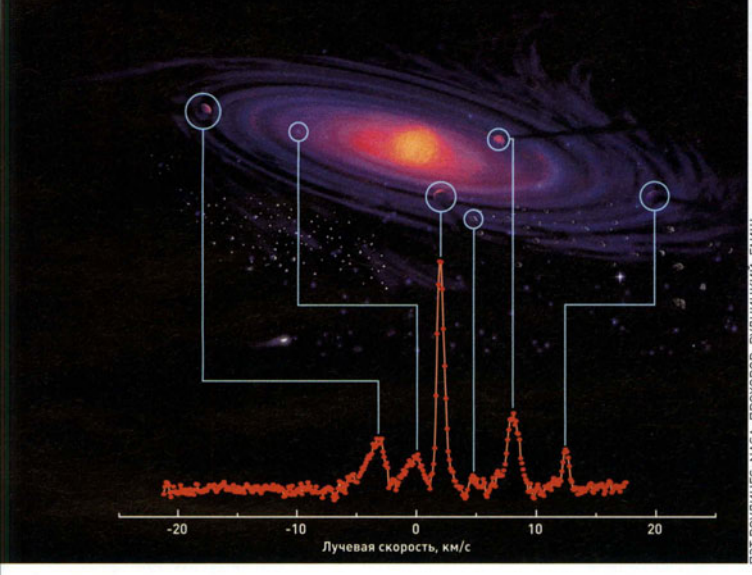
Сегодня действуют и другие системы: Вестерборк в Голландии (14 антенн диаметром 25 м), ATCA в Австралии (6 антенн по 22 м), MERLIN в Великобритании. В последнюю систему наряду с 6 другими инструментами, разбросанными по всей стране, входит и знаменитый 76-метровый телескоп. В России (в Бурятии) создан Сибирский солнечный радиоинтерферометр — специальная система антенн для оперативного изучения Солнца в радиодиапазоне.

РАЗМЕРОМ С ЗЕМНОЙ ШАР

В 1965 году советские ученые Л.И. Матвеенко, Н.С. Кардашев, Г.Б. Шоломицкий предложили независимо регистрировать данные на каждой антенне интерферометра, а потом совместно их обрабатывать, как бы имитируя явление интерференции на компьютере. Это позволяет разносить антенны на сколь угодно большие расстояния. Поэтому метод получил название радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) и успешно используется с начала 1970-х годов. Рекордная длина базы, достигнутая в экспериментах, составляет 12,2 тыс. км, а разрешение на волне порядка 3 мм достигает 0,00008'' — на три порядка выше, чем у крупных оптических телескопов. Существенно улучшить этот результат на Земле вряд ли удастся, поскольку размер базы ограничивается диаметром нашей планеты.

В настоящее время систематические наблюдения ведутся несколькими сетями межконтинентальных радиоинтерферометров. В США создана система, включающая в себя 10 радиотелескопов в среднем диаметром 25 м, расположенных в континентальной части страны, на Гавайских и Виргинских островах. В Европе для РСДБ-экспериментов регулярно объединяют 100-метровый Боннский телескоп и 32-метровый в Медичине (Италия), интерферометры MERLIN, Вестерборк и другие инструменты. Эта система называется EVN. Имеется также глобальная Международная сеть радиотелескопов для астрометрии и геодезии IVS. А недавно в России начала действовать собственная интерферометрическая сеть «Квазар» из трех

В дисках вокруг молодых звезд твердые пылинки слипаются в сгустки — планетозимали, те сливаются в протопланеты, которые становятся яркими источниками мазерного радиоизлучения в спектральных линиях молекул. Движение протопланет по орбитам приводит к смещению линий за счет эффекта Доплера. Здесь показан профиль линии воды в направлении области звездообразования S255, полученный на радиотелескопе РТ-22 Пущинской радиоастрономической обсерватории. Каждый пик профиля создается отдельной протопланетой. Картирование такой области с использованием РСДБ позволяет «увидеть» каждое такое тело в околозвездном диске по отдельности. Оптической астрономии подобное недоступно



ПЭТ РОУЛИНГС, NASA; ПРОХОРОВ, РУДНИЦКИЙ, ГАИШ

32-метровых антенн, расположенных в Ленинградской области, на Северном Кавказе и в Бурятии. Важно отметить, что телескопы не закреплены жестко за РСДБ-сетями. Они могут использоваться автономно или переключаться между сетями.

Интерферометрия со сверхдлинными базами требует очень высокой точности измерений: необходимо зафиксировать пространственное распределение максимумов и минимумов электромагнитных полей с точностью до доли длины волны, то есть для коротких волн до долей сантиметра. И с высочайшей точностью отметить моменты времени, в которые проводились измерения на каждой антенне. В качестве сверхточных часов в экспериментах РСДБ используются атомные стандарты частоты.

Но не стоит думать, что у радиоинтерферометров нет недостатков. В отличие от сплошной параболической антенны диаграмма направленности интерферометра вместо одного главного лепестка имеет сотни и тысячи узких лепестков сравнимой величины. Строить карту источника с такой диаграммой направленности — это все равно, что ощупывать клавиатуру компьютера растопыренными пальцами. Восстановление изображения — сложная и, более того, «некорректная» (то есть неустойчивая к малым изменениям результатов измерений) задача, которую, однако, радиоастрономы научились решать. ►

Международная сеть радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой

РСДБ ДЛЯ ЗЕМЛИ

У метода радиоинтерферометрии есть и чисто практические применения — не зря, например, в Санкт-Петербурге этой темой занимается Институт прикладной астрономии РАН. Наблюдения по технологии РСДБ позволяют не только определять координаты радиоисточников с точностью до десятитысячной доли секунды дуги, но и измерять положения самих радиотелескопов на Земле с точностью лучше одного миллиметра. Это, в свою очередь, дает возможность с высочайшей точностью отслеживать вариации вращения Земли и подвижки земной коры.

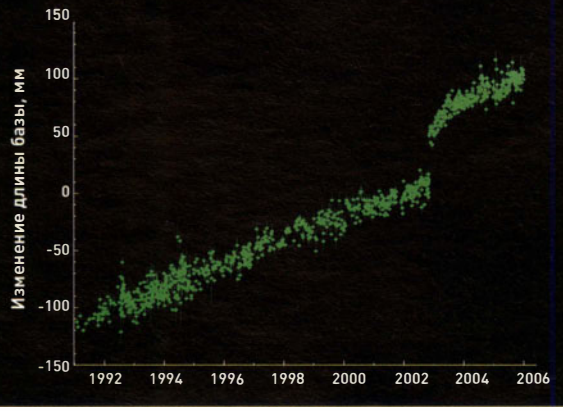
Например, именно с использованием РСДБ было экспериментально подтверждено движение континентов. На сегодня регистрация таких движений уже стала рутинным делом. Интерферометрические наблюдения далеких радиогалактик прочно вошли в арсенал геофизики наряду с сейсмическим зондированием Земли. Благодаря им надежно регистрируются периодические смещения станций друг относительно друга, вызванные деформациями земной коры. Причем отмечаются не только давно уже измеренные твердотельные приливы (впервые зарегистрированные методом РСДБ), но и прогибы, возникающие под воздействием изменений атмосферного давления, веса воды в океане и веса грунтовых вод.

Для определения параметров вращения Земли в мире ежедневно ведутся наблюдения небесных радиоисточников, координируемые Международной службой РСДБ для астрометрии и геодезии IVS. Полученные данные используются, в частности, для выявления дрейфа плоскостей орбит спутников глобальной системы позиционирования GPS. Без внесения соответствующих поправок, получаемых из РСДБ-наблюдений, погрешность определения долготы в системе GPS была бы на порядки больше, чем сейчас. В некотором смысле РСДБ играет для GPS-навигации ту же роль, что точные морские хронометры для навигации по звездам в XVIII веке. Точное знание параметров вращения Земли также необходимо для успешной навигации межпланетных космических станций.

Леонид Петров, Центр космических полетов им. Годдарда, NASA

РСДБ фиксирует, как ползут материки, смещается жидкое ядро планеты, а земную ось колеблют воздушные массы

СЛЕДИТЕ ЗА СКАЧКОМ



Многолетние ряды РСДБ-наблюдений позволяют в деталях проследить за тектоническими движениями. В течение более чем 10 лет расстояние между двумя антеннами в США и Германии (отмечены флажками на рисунке вверху) увеличивалось ровно на один сантиметр в год. Скачок на 5 сантиметров в конце 2002 года был вызван землетрясением. Потом еще в течение года заметен эффект релаксации напряжений в земной коре — длина базы растет вдвое быстрее обычного. С 2004 года движение возвращается к обычной скорости.

ДОСТИЖЕНИЯ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

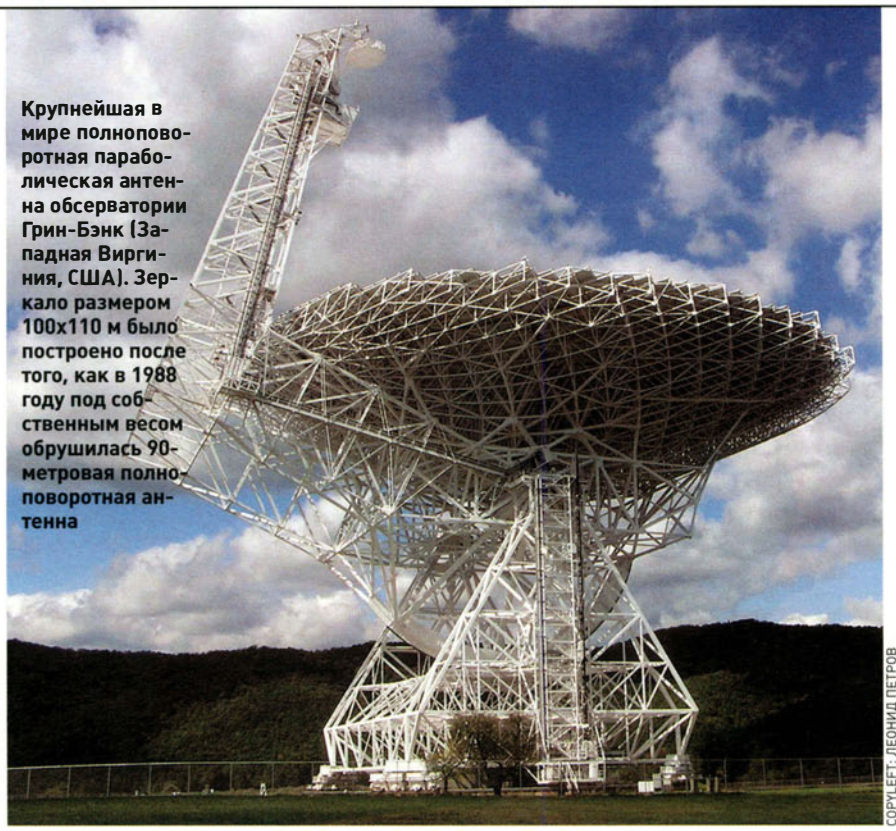
Радиоинтерферометры с угловым разрешением в тысячные доли секунды дуги «заглянули» в самые внутренние области наиболее мощных «радиомаяков» Вселенной — радиогалактик и квазаров, которые излучают в радиодиапазоне в десятки миллионов раз интенсивнее, чем обычные галактики. Удалось «увидеть», как из ядер галактик и квазаров выбрасываются облака плазмы, измерить скорости их движения, которые оказались близкими к скорости света.

Много интересного было открыто и в нашей Галактике. В окрестностях молодых звезд найдены источники мазерного радиоизлучения (мазер — аналог оптического лазера, но в радиодиапазоне) в спектральных линиях молекул воды, гидроксила (OH) и метанола (CH_3OH). По космическим масштабам источники очень малы — меньше Солнечной системы. Отдельные яркие пятнышки на радиокартах, полученных интерферометрами, могут быть зародышами планет.

Такие мазеры найдены и в других галактиках. Изменение положений мазерных пятен за несколько лет, наблюдавшееся в соседней галактике M33 в созвездии Треугольника, впервые позволило непосредственно оценить скорость ее вращения и перемещение по небу. Измеренные смещения ничтожны, их скорость во многие тысячи раз меньше видимой для земного наблюдателя скорости улитки, ползущей по поверхности Марса. Такой эксперимент пока находится далеко за пределами возможностей оптической астрономии: заметить собственные движения отдельных объектов на межгалактических расстояниях ей просто не под силу.

Наконец, интерферометрические наблюдения дали новое подтверждение существования сверхмассивных черных дыр. Вокруг ядра активной галактики NGC 4258 были обнаружены сгустки вещества, которые движутся по орбитам радиусом не более трех световых лет, при этом их скорости достигают тысячи километров в секунду. Это означает, что масса центрального тела галактики — не менее миллиарда масс Солнца, и оно не может быть не чем иным, как черной дырой.

Целый ряд интересных результатов получен методом РСДБ при наблюдениях в Солнечной системе. Начать хотя бы с самой точной на сегодня количественной проверки общей теории относительности. Интерферометр измерил отклонение радиоволн в поле тяготения Солнца с точностью до сотой доли процента. Это на два порядка точнее, чем позволяют оптические наблюдения. ►



Крупнейшая в мире полноповоротная параболическая антенна обсерватории Грин-Бэнк (Западная Вирджиния, США). Зеркало размером 100x110 м было построено после того, как в 1988 году под собственным весом обрушилась 90-метровая полноповоротная антенна

COPY LEFT: ЛЕОНИД ПЕТРОВ

Амбициознейший проект будущего — телескоп SKA с площадью антенн 1 км²

Глобальные радиоинтерферометры также применяются для слежения за движением космических аппаратов, изучающих другие планеты. Первый раз такой эксперимент был проведен в 1985-м, когда советские аппараты «Вега-1» и «-2» сбросили в атмосферу Венеры аэростаты. Наблюдения подтвердили быструю циркуляцию атмосферы планеты со скоростью около 70 м/с, то есть один оборот вокруг планеты за 6 суток. Это удивительный факт, который еще ожидает своего объяснения.

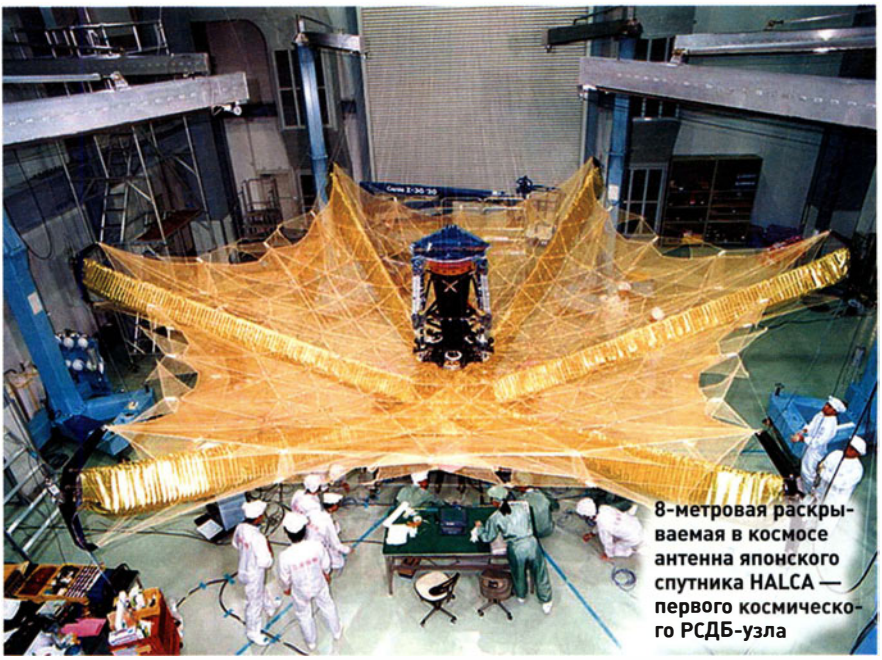
В прошлом году аналогичные наблюдения с участием сети из 18 радиотелескопов на разных континентах сопровождали посадку аппарата «Гюйгенс» на спутник Сатурна Титан. С расстояния в 1,2 млрд. км велось слежение за тем, как движется аппарат в атмосфере Титана с точностью до десятка километров! Не слишком широко известно о том, что во время посадки «Гюйгенса» была потеряна практически половина научной информации. Зонд ретранслировал данные через станцию «Кассини», которая доставила его к Сатурну. Для надежности предусматривалось два дублирующихся канала передачи данных. Однако незадолго до посадки было принято решение передавать по ним разную информацию. Но в самый ответственный момент из-за пока еще не выясненного сбоя один из приемников на «Кассини» не включился, и половина снимков пропала. А вместе с ними пропали и данные о скорости ветра в атмосфере Титана, которые передавались как раз по отключившемуся каналу. К счастью, в NASA успели подстраховаться — спуск «Гюйгенса» наблюдал с Земли глобальный радиоинтерферометр. Это, по-видимому, позволит спасти пропавшие данные о динамике атмосферы Титана. Результаты этого эксперимента еще обрабатываются в Европейском объединенном радиоинтерферометрическом институте, и, кстати, занимаются этим наши соотечественники Леонид Гурвиц и Сергей Погребенко.

ИНСТРУМЕНТЫ БУДУЩЕГО

По крайней мере в ближайшие полвека генеральной линией развития радиоастрономии будет создание все более крупных систем апертурного синтеза — все проектируемые крупные инструменты являются интерферометрами. Так, на плато Чахнантор в Чили совместными усилиями ряда стран Европы и Америки началось строительство системы антенн миллиметрового диапазона ALMA (Atacama Large Millimeter Array — Большая миллиметровая система Атакама). Всего здесь будет 64 антенны диаметром 12 метров с рабочим диапазоном длин волн от 0,35 до 10 мм. Наибольшее расстояние между антеннами ALMA составит 14 км. Благодаря очень сухому климату и большой высоте над уровнем моря (5100 м) система сможет вести наблюдения на волнах короче миллиметра. В других местах и на меньшей высоте это невозможно из-за поглощения такого излучения парами воды в воздухе. Строительство ALMA будет закончено к 2011 году.

Европейская система апертурного синтеза LOFAR будет работать на гораздо более длинных волнах — от 1,2 до 10 м. Она войдет в строй в течение трех ближайших лет. Это очень интересный проект: чтобы снизить стоимость, в нем используются простейшие неподвижные антенны — пирамиды из металлических стержней высотой около 1,5 м с усилителем сигнала. Зато таких антенн в системе будет 25 тысяч. Их объединят в группы, которые разместят по всей территории Голландии вдоль лучей «изогнутой пятиконечной звезды» диаметром около 350 км. Каждая антенна будет принимать сигналы со всего видимого неба, но их совместная компьютерная обработка позволит выделять те, что пришли с интересующих ученых направлений. При этом чисто вычислительным путем формируется диаграмма направленности интерферометра, ширина которой на самой короткой волне составит 1 секунду дуги. Работа системы потребует огромного объема вычислений, но для сегодняшних компьютеров это вполне посильная задача. Для ее решения в прошлом году в Голландии был установлен самый мощный в Европе суперкомпьютер IBM Blue Gene/L с 12 288 процессорами. Более того, при соответствующей обработки сигналов (требующей еще больших компьютерных мощностей) LOFAR сможет одновременно наблюдать на несколькими и даже на многими объектами!

Но самый амбициозный проект близкого будущего — SKA (Square Kilometer Array — Система «Квадратный километр»). Суммарная площадь его антенн составит около 1 км², а стоимость инструмента оценивается в миллиард долларов. Проект SKA находится пока на раннем этапе разработки. Основной обсуждаемый вариант конструкции — тысячи антенн диаметром несколько метров, работающих в диапазоне от 3 мм до 5 м. Причем половину из них панируется установить на участке диаметром 5 км, а остальные разнести на значительные расстояния. Китайские ученые предлагали альтернативную схему — 8 неподвижных зеркал диаметром 500 м каждое, подобных телескопу в Аресибо. Для их размещения были даже предложены подходящие высохшие озера. Однако в сентябре Китай выбыл из числа стран — претендентов на размещение гигантского телескопа. Теперь основная борьба развернется между Австралией и Южной Африкой. ►



8-метровая раскрываемая в космосе антенна японского спутника HALCA — первого космического РСДБ-узла

Разрешения интерферометра «Миллиметрон» хватило бы для чтения автомобильных номеров на Марсе

И ЦЕЛОГО МИРА МАЛО

Возможности увеличения базы наземных интерферометров практически исчерпаны. Будущее — это запуск антенн интерферометра в космос, где нет ограничений, связанных с размерами нашей планеты. Такой эксперимент уже проводился. В феврале 1997 года был запущен японский спутник HALCA, который проработал до ноября 2003 года и завершил первый этап в развитии международного проекта VSOP (VLBI Space Observatory Programme — Программа космической обсерватории РСДБ). Спутник нес антенну в виде зонтика диаметром 8 м и работал на эллиптической околоземной орбите, которая обеспечивала базу, равную трем диаметрам Земли. Были получены изображения многих внегалактических радиоисточников с разрешением в тысячные доли секунды дуги. Следующий этап эксперимента по космической интерферометрии, VSOP-2, планируется начать в 2011—2012 годах.

Еще один инструмент такого типа создается в рамках проекта «Радиоастрон» Астрокосмическим центром Физического института им. П.Н. Лебедева РАН совместно с учеными других стран. Спутник «Радиоастрон» будет иметь параболическое зеркало диаметром 10 м. Во время запуска оно будет в сложенном состоянии, а после выхода на орбиту развернется. «Радиоастрон» будет снабжен приемниками для нескольких длин волн — от 1,2 до 92 см. В качестве наземных антенн космического интерферометра будут использоваться радиотелескопы в Пущино (Россия), Канберре (Австралия) и Грин-Бэнк (США). Орбита спутника будет очень вытянутой, с апогеем 350 тыс. км. С такой базой интерферометра на самой короткой волне удастся получить изображения радиоисточников и измерять их координаты с точностью до 8 миллионных долей секунды дуги. Это даст возможность заглянуть в ближайшие окрестности ядер радиогалактик и черных дыр, в глубины областей образования молодых звезд в Галактике.

Российскими учеными разрабатывается и более совершенный космический радиотелескоп для работы в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах — «Миллиметрон». Зеркало этого инструмента будет охлаждаться жидким гелием до температуры 4 Кельвина (–269°С) для уменьшения теплового шума и повышения чувствительности. Рассматривается несколько вариантов работы этого интерферометра по схемам «Космос—Земля» и «Космос—Космос» (между двумя телескопами на спутниках). Аппарат может быть запущен на такую же вытянутую орбиту, как в проекте «Радиоастрон», либо в точку Лагранжа системы Солнце—Земля, на расстоянии 1,5 млн. км в противосолнечном направлении от Земли (это в 4 раза дальше, чем Луна). В последнем варианте на волне 0,35 мм интерферометр «Космос—Земля» будет давать угловое разрешение до 45 миллиардных долей секунды дуги — в сотни тысяч раз лучше, чем в современных оптических инструментах! ●