Антенны не для связи: крупнейший в мире радиотелескоп

[Антенны не для связи: крупнейший в мире радиотелескоп]

На фото изображена Мерчисонская радиоастрономическая обсерватория, которая находится в Западной Австралии. Она включает в себя 36 комплексов с такими вот зеркальными антеннами, работающими в диапазоне 1.4 ГГц. Диаметр главного зеркала каждой антенны составляет 12 метров. Совместно эти антенны являются частью одного большого радиотелескопа Pathfinder. Это самый большой из всех существующих на сегодняшний день радиотелескопов.

Десятки зеркальных антенн используются для исследований и наблюдения за галактикой. Они способны заглянуть в такую даль, на которую не способен самый крупный в мире оптический телескоп Hubble. Совместно эти антенны работают как один большой интерферометр и образуют массив, способный собирать электромагнитные волны с самого края вселенной.

Сотни тысяч антенн по всему миру объединяются в один радиотелескоп Square Kilometre Array

Подобные радиотелескопы развернуты по всему земному шару, и многие из них к 2030 году планируется объединить в единую систему Square Kilometre Array (SKA), имеющую общую площадь приема более одного квадратного километра, как вы наверняка догадались из названия. В него будет входить более двух тысяч антенных систем, расположенных в Африке и полмиллиона комплексов из Западной Австралии. В проекте SKA принимает участие 10 стран: Австралия, Канада, Китай, Индия, Италия, Нидерланды, Новая Зеландия, Южная Африка, Швеция и Соединенное Королевство:

Никто и никогда не строил ничего подобного. Система радиотелескопов SKA позволит решить самые насущные загадки вселенной. Он сможет измерить огромное количество пульсаров, звездных осколков и других космических тел, излучающих электромагнитные волны вдоль своих магнитных полюсов. Наблюдая за подобными объектами вблизи черных дыр, смогут быть открыты новые физические законы и, возможно, будет разработана единая теория квантовой механики и гравитации.

Строительство единой системы SKA начинается поэтапно с более мелких составных частей и Pathfinder в Австралии будет одной из таких частей. Кроме этого в настоящее время уже строится система SKA1, которая будет являться лишь малой частью будущей Square Kilometre Array, но при завершении строительства станет крупнейшим радиотелескопом в мире.

SKA1 будет включать в себя две части на разных континентах в Африке и Австралии

SKA1 будет состоять из двух частей: SKA1-mid в южной части Африки, и SKA1-low в Австралии. SKA1-mid изображена на рисунке ниже и будет включать в себя 197 зеркальных антенн диаметром от 13.5 до 15 метров каждая:



А система SKA1-low будет рассчитана на сбор низкочастотных радиоволн, которые появились в космосе миллиарды лет назад, когда объекты, подобные звездам, только начинали свое существование. Для приема этих радиоволн радиотелескоп SKA1-low не будет использовать зеркальные антенны. Вместо этого будет установлено множество более мелких турникетных антенн, предназначенных для сбора сигналов в широком диапазоне частоте, в том числе телевизионном и FM-диапазонах, которые совпадают с частотой излучения старейших источников во вселенной. Антенны SKA1-low работают в диапазоне от 50 до 350 МГц, их внешний вид изображен ниже:





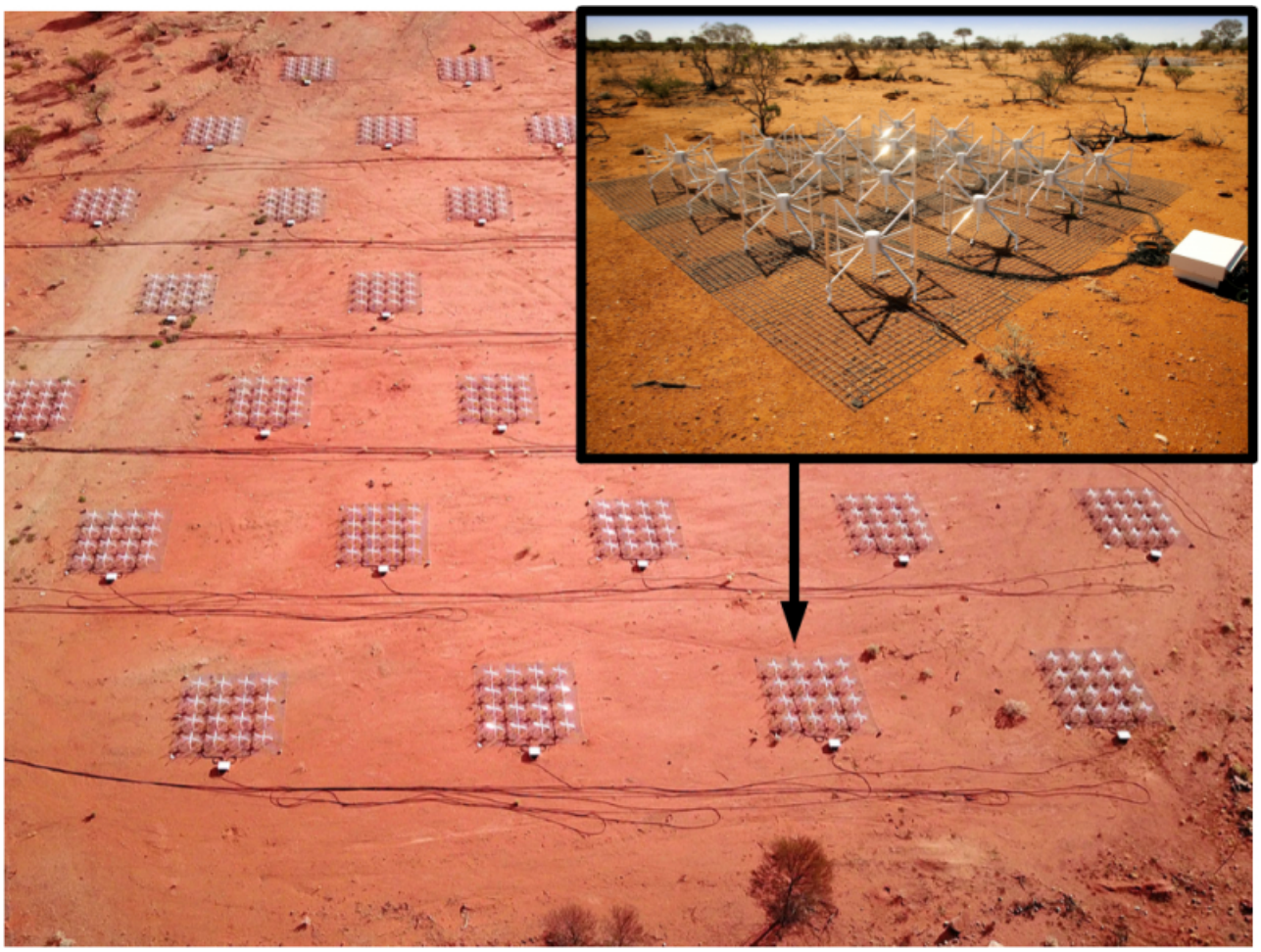
К 2024 году руководители проекта SKA планируют установить более 131 000 подобных антенн, сгруппированных в кластеры и разбросанных по пустыне на десятки километров. В один кластер будет включено по 256 таких антенн, сигналы которых будут объединяться и передаваться через одну волоконно-оптическую линию связи. Низкочастотные антенны будут работать вместе, принимая излучение, возникшее во вселенной миллиарды лет назад. И тем самым, помогут понять физические процессы, происходящие в далеком прошлом.

Принцип работы радиотелескопов

Антенны, объединенные в один общий массив, работают по тому же принципу, что и оптический телескоп, вот только радиотелескоп фокусирует не оптическое излучение, а принимаемые радиоволны. Законы физики диктуют такие требования, что чем выше принимаемая длина волны, тем больше должен быть диаметр зеркальной антенны. Вот так, например, выглядит радиотелескоп без пространственного разнесения приемных антенных систем, - действующий пятисотметровый сферический радиотелескоп FAST в юго-западной провинции Гуйчжоу в Китае. Этот радиотелескоп в будущем также станет частью проекта Square Kilometre Array (SKA):



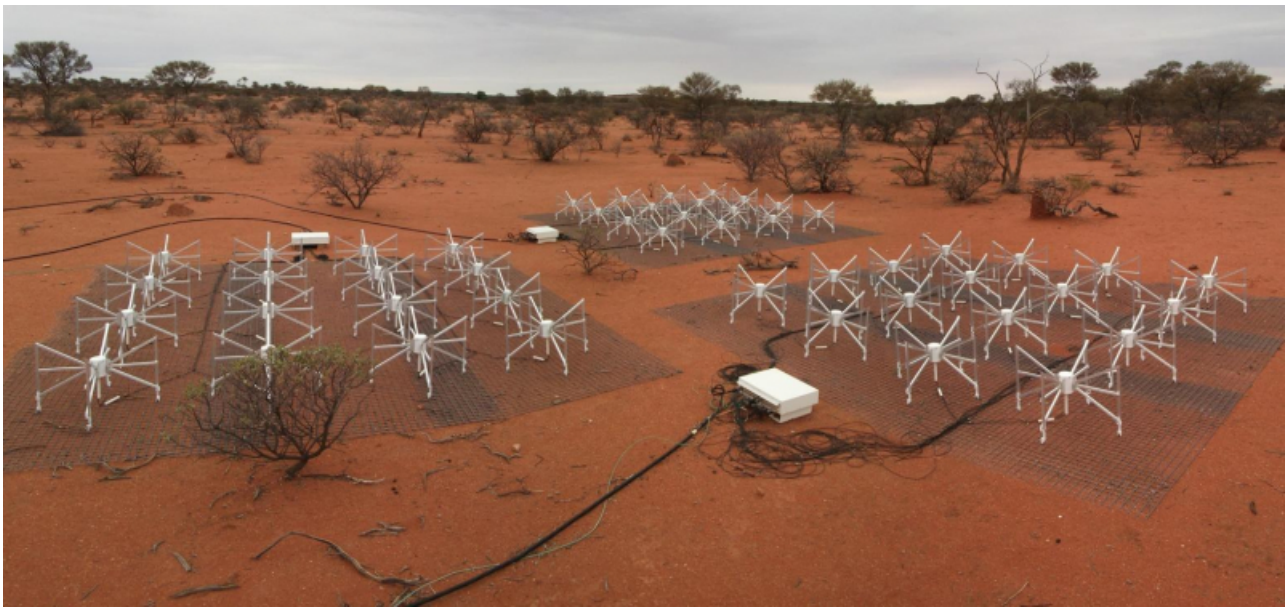
Но увеличивать диаметр зеркала до бесконечности не получится, а реализация интерферометра как на фото выше, не всегда и не везде возможна, поэтому приходится использовать большое количество территориально разнесенных антенн меньшего размера. Например, таким видом антенн для радиоастрономии являются Murchison Widefield Array (MWA). Антенны MWA работают в диапазоне от 80 до 300 МГц:



Антенны MWA также входят в состав системы SKA1-low в Австралии. Они также способны заглянуть в темный период ранней вселенной, называемой эпохой реионизации. Эта эпоха существовала 13 миллиардов лет назад (примерно через миллиард лет после Большого взрыва), когда только зарождающиеся звезды и другие объекты начали нагревать вселенную, заполненную атомами водорода. Примечательно то, что до сих пор можно обнаружить радиоволны, излучаемые этими нейтральными атомами водорода. Волны испускались с длиной волны 21 см, но к тому времени, как они достигли Земли, прошли миллиарды лет космической экспансии, растянувшие их еще на несколько метров.

Антенны MWA будут использоваться для того, чтобы обнаружить эхо дальнего прошлого. Астрономы надеются, что изучение этого электромагнитного излучения поможет глубже понять, как формировалась ранняя вселенная, и как структуры, подобные галактикам, формировались и изменялись в эту эпоху. Астрономы отмечают, что это одна из основных фаз во время эволюции Вселенной, которая совершенно нам неизвестна.

На изображении ниже секции с MWA-антеннами. Каждая секция содержим по 16 антенн, которые объединяются между собой в единую сеть с помощью оптоволокна:



Антенны MWA принимают радиоволны частями с разных направлений одновременно. Входящие сигналы усиливаются в центре каждой антенны с помощью пары малошумящих усилителей, а затем направляются в ближайший формирователь луча. Там волноводы различной длины придают сигналам антенны определенную задержку. При правильном выборе этой задержки формирователи луча "наклоняют" диаграмму направленности массива так, что радиоволны, поступающие с определенного участка неба, достигают антенну в одно и то же время, как если бы они принимались одной большой антенной.

Антенны MWA делятся на группы. Сигналы от каждой группы отправляются на один приемник, который распределяет сигналы между различными частотными каналами, а затем отправляет их в центральное здание обсерватории по оптоволокну. Там с помощью специализированных программных пакетов и блоков обработки графики данные коррелируются, перемножая сигналы от каждого приемника и интегрируя их по времени. Этот подход позволяет создать единый сильный сигнал, как будто он был принят одним большим радиотелескопом.

Подобно оптическому телескопу, дальность видимости такого виртуального радиотелескопа пропорциональна его физическому размеру. В частности, для виртуального телескопа, состоящего из набора зеркальных или фиксированных антенн, максимальное разрешение телескопа определяется его расстоянием между несколькими приемными частями. Чем больше это расстояние, тем точнее разрешение.

Сегодня астрономы используют это свойство для создания виртуальных телескопов, которые охватывают целые континенты, что позволяет увеличить разрешение телескопа настолько хорошо, чтобы разглядеть черные дыры в центре Млечного пути. Но размер радиотелескопа не является единственным требованием для получения детальной информации о далеком объекте. Качество разрешения зависит также от общего количества приемных антенн, частотного диапазона и расположения антенн относительно друг друга.

Данные, полученные с помощью MWA, отправляются через сотни километров в ближайший центр обработки данных с суперкомпьютером. MWA может отправлять более 25 терабайт данных в день и в ближайшие годы с выходом SKA1-low эта скорость станет еще выше. И 131 000 антенн в составе радиотелескопа SKA1-low, работая в одном общем массиве, будет собирать каждый день более терабайта данных.

А вот так решается проблема с электропитанием радиотелескопов. В Мерчисонской радиоастрономической обсерватории электропитание антенных комплексов обеспечивается за счет солнечных панелей емкостью в 1,6 мегаватт:



До недавнего времени антенны обсерватории работали на дизель-генераторах, а сейчас помимо солнечных панелей она имеет еще и огромное количество блоков литиево-ионных батарей, которые могут хранить 2,6 мегаватт-часов. Некоторые части антенного массива вскоре получат собственные солнечные панели.

В таких амбициозных проектах всегда довольно остро стоит вопрос финансирования. На данный момент бюджет строительства SKA1 в Южной Африке и Австралии составляет около 675 миллионов евро. Это сумма, установленная 10 странами-членами проекта: Австралией, Канадой, Китаем, Индией, Италией, Нидерландами, Новой Зеландией, Южной Африкой, Швецией и Соединенным Королевством. Но это финансирование не покрывает всю стоимость SKA1, на которые надеются астрономы. Поэтому обсерватория пытается привлечь больше стран к партнерству, которое могло бы увеличить финансирование.

Заключение

Радиотелескопы позволяют наблюдать за далекими космическими объектами: пульсарами, квазарами и др. Вот так, например, с помощью радиотелескопа FAST удалось обнаружить в 2016 году радиопульсар:



После обнаружения пульсара удалось установить, что пульсар в тысячу раз тяжелее Солнца и на земле один кубический сантиметр такого вещества весил бы несколько миллионов тонн. Сложно переоценить значимость информации, которую можно получить с помощью вот таких необычных радиотелескопов.