

УДК 523.164 : 621.396

СИСТЕМЫ АПЕРТУРНОГО СИНТЕЗА МЕТРОВЫХ И ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН.

(Обзор)

Ю. П. Илясов

Как хорошо известно, результаты радиоастрономических наблюдений в диапазоне метровых и дециметровых волн достаточно информативны и представляют большой интерес для астрофизики. В этом диапазоне изучаются внегалактические источники, их строение, механизмы радиоизлучения и спектры, исследуются «внешние» области излучения радиогалактик. Весьма информативен этот диапазон волн и для изучения галактических объектов (туманности, остатки вспышек сверхновых и др.).

Для работы в этом диапазоне создано несколько радиотелескопов, использующих, как правило, для заполнения плоскости пространственных частот вращение Земли, т. е. работающих в режиме суперсинтеза.

Как созданные, так и разрабатываемые в настоящее время для работы в этом диапазоне радиотелескопы апертурного синтеза мало отличаются по принципам построения радиоизображения от подобных радиотелескопов, работающих на других волнах. Так же как и в более коротковолновом диапазоне, эти инструменты при высокой чувствительности должны обеспечивать разрешение порядка единиц — десятков угловых секунд. В этом случае данные наблюдений с таких инструментов сопоставимы с результатами исследований на синтезных радиотелескопах более коротких волн и дают возможность наблюдателю получить адекватные сведения об объекте в широком диапазоне частот. Очевидно, что стремление удовлетворять этим требованиям на достаточно длинных волнах приводит разработчиков к необходимости строить синтезные радиотелескопы со сравнительно большими базовыми размерами. Возникающую при этом проблему соединения элементов синтезной системы все чаще решают с использованием радиорелейных каналов связи. Как отмечалось в [1], такой способ был впервые применен в интерференционных экспериментах в Сиднее (Австралия), а затем был превращен в мощный метод усилиями радиоастрономов в Джодрелл Бэнке (Англия) и в других местах. В Советском Союзе это направление развивалось группой Виткевича [2, 3]. Для фазостабильных интерференционных систем с большими базами и, конечно, в первую очередь работающих на волнах метрового и дециметрового диапазонов это один из немногих, если не единственный реальный способ построения системы с базовыми размерами порядка нескольких километров и более. Очевидно, что нет большой разницы, будет радиорелейная линия наземной, аэростатной или спутниковой. Это, в свою очередь, позволяет перейти к синтезным фазостабильным интерферометрическим системам континентального или глобального масштаба и не только метрового диапазона волн. Применение радиорелейных

систем связи в технике апертурного синтеза — это вклад специалистов, начинавших создавать системы в метровом и дециметровом диапазонах.

Хорошо известно, что в диапазоне метровых волн существует сильное дестабилизирующее влияние ионосферы. Фазовые искажения волнового фронта здесь достаточно сильны, так что без специальных методов обработки или способов наблюдений часто трудно получить приемлемые результаты. Именно для успешной работы многоэлементного радиоинтерферометра в этом диапазоне был разработан и в 1958 г. опубликован метод «замыкающей фазы» [4]. Этот метод успешно и широко применяется теперь не только в синтезных радиотелескопах, но и в РСДБ-системах. Немного позже был предложен метод «замыкающей амплитуды» для устранения и амплитудных возмущений, прежде всего за счет ионосферы, в многоэлементных интерферометрических системах [5].

Хотя бы этот второй принципиально важный «вклад в дело» апертурного синтеза системами метровых волн оправдывает в какой-то мере интерес к их особенностям. В настоящее время в этом диапазоне работает несколько радиотелескопов апертурного синтеза. Некоторые радиотелескопы находятся в стадии завершения, часть только разрабатывается. Основные особенности этих синтезных радиотелескопов и будут рассмотрены ниже.

В 70-х годах в Кембридже группой Балдвина построен синтезный радиотелескоп на частоту 151 МГц [6]. Разрешение этого инструмента 220 угл. с, чувствительность по потоку порядка 0,1 Ян. Максимальное базовое расстояние 1400 м. В качестве антенных элементов используются решетки из излучателей типа «волновой канал». У каждого антенно-го элемента установлены предусилители со смесителями. Сигналы гетеродина и промежуточной частоты разведены в радиотелескопе по кабелям.

Хотя база этого инструмента сравнительно невелика и фазовые возмущения для нее на рабочей волне еще, казалось бы, терпимы, тем не менее, как известно, один из авторов этого инструмента — Балдин — сумел внести заметный вклад в развитие методов реконструкции радиоизображений в синтезных радиотелескопах при фазовых возмущениях. В частности, им совместно с Уорнером в 1976—1978 гг. были опубликованы работы по построению радиоизображения при полностью неизвестной фазе пространственных гармоник распределения радиояркости с использованием итерационных процедур, разработанных в кристаллографии [7, 8].

Более современным и содержащим отмеченные выше особенности синтезных радиотелескопов метровых волн представляется инструмент индийской обсерватории Ути Института фундаментальных исследований, создаваемый группой Сварупа.

Проект этой системы, создаваемый на базе основного радиотелескопа с большим параболическим цилиндром обсерватории Ути, был опубликован в 1973 г. [9]. Намечались две очереди в развитии этого синтезного радиотелескопа с использованием 36 параболоидов диаметром 5 м и двух — диаметром 13,5 м. Для первой очереди при максимальном базовом расстоянии 3,5 км ожидалось разрешение порядка 48×330 угл. с при чувствительности 20 Ян за 5 часов наблюдений на частоте 327 МГц.

Для второй очереди базовый размер увеличивался до 10 км, соответственно разрешение — до 20 угл. с и чувствительность — до 7 Ян за 9,5 часов наблюдения.

Можно отметить некоторые особенности этого создаваемого инструмента.

Во-первых, уже для первой очереди для удаленных антенных элементов входной сигнал и сигнал гетеродина передавались с использованием радиорелейного канала на волне 18 см.

Во-вторых, в системе использовались антенные элементы с разным полем зрения: центральный параболический цилиндр 530×30 м, два параболоида диаметром 13,5 м и 36 параболоидов диаметром 5 м. Для построения радиоизображения из всех комбинаций использовались лишь интерферометрические пары с центральным элементом.

В-третьих, фазостабильная система единого гетеродина строилась с использованием системы «встречной» передачи сигналов двух генераторов, работающих на половинной частоте гетеродина и с применением фазовой автоподстройки по схемам, близким к разработанным для VLA [10].

В-четвертых, при размещении антенных элементов практически отошли от традиционных эквидистантных схем.

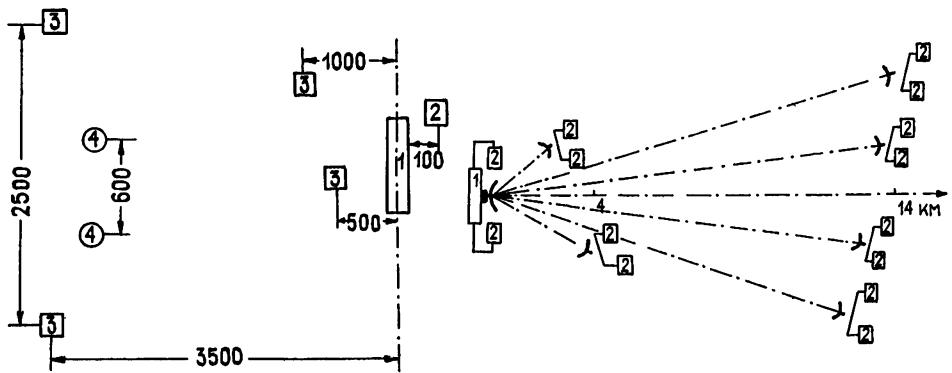


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 1. Схема размещения элементов синтезного радиотелескопа в Ути-обсерватории (первая очередь, базовые размеры, м): 1 — параболический цилиндр 530×30 м, 2 — параболический цилиндр $112 \times 7,5$ м, 3 — параболический цилиндр $23 \times 7,5$ м, 4 — параболоид диаметром 13,5 м.

Рис. 2. План размещения антенн ГЭРТ: 1 — параболический цилиндр 2000×50 м, 2 — параболический цилиндр 15×50 м.

Синтезная система обсерватории Ути претерпела, однако, достаточно сильные изменения в сравнении с первоначальным проектом (Джоши, Венугопал. Синтезная система в Ути. Частное сообщение). В целях достижения высокой чувствительности была значительно увеличена эффективность ее центрального элемента. Вместо параболоидов диаметром 5 м применены параболические цилиндры двух размеров: $112 \times 7,5$ м и $23 \times 7,5$ м. Цилиндр больших размеров установили на расстоянии 100 м в северо-восточном углу площадки инструмента, а несколько штук малых расположили на площадке размерами $2,5 \times 3,5$ км, считая возможным во вторую очередь довести максимальный размер инструмента до 13,5 км. На этой стадии заполнение u , v -плоскости стало неэквидистантным, чему способствовали, конечно, как разработанные к тому времени методы редукции данных при нерегулярном заполнении u , v -плоскости, так и окрестный холмистый рельеф, подсказавший удобные точки размещения антенных элементов. Схема размещения элементов дается на рис. 1.

Первые наблюдения источника Дева-А были проведены на трехэлементной синтезной системе в составе большого радиотелескопа обсерватории и двух параболоидов 13,5 м. Первая очередь этого осуществляющегося варианта с базовым размером 3,5 км заработает,

по-видимому, в 1983 году, а первые пробные наблюдения на всей системе с большой базой будут поставлены не раньше 1984 года.

В синтезной системе Ути-обсерватории только три ближних антенных элемента, удаленных от центрального на расстояние менее километра, соединены высокочастотными кабелями. От всех остальных элементов для передачи сигнала и частоты гетеродина используются фазостабильные радиорелейные линии связи.

Следует вновь отметить, что и здесь стали разрабатываться вопросы обработки результатов наблюдений на синтезных системах при фазовых возмущениях. Известные работы Субраманья, в частности [12], по методу максимальной энтропии, выполненные применительно к восстановлению результатов наблюдения лунных покрытий, будут использованы для обработки результатов наблюдения на синтезном радиотелескопе (частное сообщение).

Идеи и разработки группы Сварупа по синтезной системе на основе центрального радиотелескопа обсерватории Ути были распространены на проект ГЭРТ (гигантский экваториальный радиотелескоп) [13]. Как известно, в основу этого проекта положен «супер-Ути»-телескоп — гигантский параболический цилиндр размерами 2000×50 м, работающий на той же частоте, что и индийский телескоп, и являющийся, в общем, его увеличенной более чем в четыре раза копией. На втором этапе создания ГЭРТ вокруг этого основного элемента предполагалось установить 12—14 параболических цилиндров размерами 15×50 м на площадке размерами 14 км в направлении запад — восток и 8 км — север — юг. Такая система при наблюдении за 12 часов давала бы разрешение 10×30 угл. с для нулевых склонений и 10×10 угл. с для склонений больше 30° . При комбинациях выносных элементов только с центральным планируется обеспечить чувствительность в несколько мЯн.

В этом проекте фазостабильной интерференционной системы (ФИС) ближние элементы соединялись между собой кабельными линиями, а для основной передачи использовались радиорелейные станции. На рис. 2 приведен план размещения антенных элементов этого проекта. Вновь видно, что теперь, по-видимому, даже на ровной площадке не стремятся к регулярному эквидистантному размещению элементов.

Для уменьшения влияния ионосферы авторы проекта намереваются использовать спутниковые данные о состоянии ионосферы. Кстати, в [9] также упоминается о такой возможности коррекции фазовых возмущений, вызываемых влиянием ионосферы. Если проект ГЭРТ будет осуществляться с участием Индии, то создаваемый по этому проекту инструмент, по-видимому, будет подобен развивающейся в настоящее время синтезной системе Ути-обсерватории.

Одним из совершенных в настоящее время инструментов апертурного синтеза является многоантенная радиointерферометрическая система, созданная на обсерватории Джодрелл Бэнк Манчестерского университета (Англия) [14]. Ему присущи все основные особенности, объединяющие синтезные инструменты метрового и дециметрового диапазонов (наименьшая рабочая частота этого инструмента 408 МГц).

Как отмечает директор этой обсерватории, Ловелл [15], интерферометры с большими базами как перспективные системы постоянно развивались и совершенствовались в обсерватории Джодрелл Бэнк. Действительно, простая трехантennaя система Дженнисона с базой 910 м, настроенная на частоту 127 МГц, с основной и двумя передвижными антennами и связью между ними по радиорелейным каналам была создана здесь уже в 1954 г. Публикация об этой системе появилась в 1958 г. [4]. В этой же системе Дженнисоном были приняты схемные решения для образования общего единого гетеродина (разностная

частота двух кварцевых генераторов передавалась на центральный пункт). Как уже упоминалось, там же был предложен метод замыкающей фазы как способ борьбы с сильными фазовыми возмущениями.

Следует отметить работы Г. Палмера и его группы, создавших трехэлементный интерферометр с общим гетеродином с базой в 127 км. Наименьшая рабочая частота этого интерферометра была 151 МГц, а передача сигнала и гетеродина проводилась по коммерческим радиорелейным линиям с несколькими ретрансляторами по пути. В начале 70-х годов эту систему существенно модернизировали [16].

Эти работы в обсерватории обеспечили не только технические предпосылки, но и, главным образом, сформировали коллектив специалистов, способный создать крупную многоантеннную радиоинтерферометрическую систему. Как сообщается в [14], в 1974 году по предложению Г. Палмера коллектив обсерватории приступил к разработке и созданию новой многоэлементной радиоинтерферометрической системы апертурного синтеза (МЕРЛИН, английский эквивалент MERLIN). К 1980 году на этой системе начались наблюдения.

Как уже отмечалось, в этом инструменте в полной мере проявились все особенности, характерные для синтезных радиотелескопов метрового и дециметрового диапазонов. В этом инструменте апертурного синтеза шесть антенных элементов. План их размещения приведен на рис. 3 [14]. Как видно, в системе образуется 15 баз интерферометров от 6 до 134 км.

Отметим некоторые принципиальные особенности этой новой мощной системы апертурного синтеза, сравнимой по своим возможностям с широко известной американской синтезной решеткой VLA.

Рабочий диапазон длин волн инструмента от 73 до 1,35 см значительно шире, чем у VLA, и разрешение больше почти на порядок. Правда, из-за меньшего числа антенн у МЕРЛИН ниже чувствительность, и на построение

Рис. 3. План размещения антенн многоантенной радиоинтерференционной системы апертурного синтеза обсерватории Джодрелл Бэнк (базовые размеры, км).

ние радиоизображения требуется больше времени. По разрешающей способности и чувствительности этот инструмент превосходит бывший до этого вне конкуренции известный 5-километровый синтезный радиотелескоп Кембриджского университета [18].

В МЕРЛИН использованы три существовавших радиотелескопа (Марк IA или II, Марк III и 25-метровый параболоид в Деффорде) и добавлено три новых 25-метровых параболоида, купленных в США у фирмы, изготавлившей антенные элементы для VLA.

Основная особенность состоит в том, что эта фазостабильная интерференционная система (ФИС) с единым общим гетеродином при многокилометровых базовых расстояниях дает возможность получать радиоизображения объектов и измерять их координаты относительно опорных источников.

Разрешающая способность на 75 см — 1 угл. с. , на $1,35 \text{ см}$ — $0,02 \text{ угл. с.}$, что на порядок выше, чем у VLA, и почти на два порядка больше, чем у современных оптических телескопов.

В системе МЕРЛИН собраны разные по размерам антенны. Они установлены нерегулярно, что в настоящее время не препятствует получению качественных радиоизображений с использованием современных методов обработки при коррекции первичного луча (английское *dirty beam*) с помощью сходящейся итерационной процедуры чистки (английское CLEAN). Этот инструмент существует и успешно работает, главным образом, благодаря применению радиорелейных каналов связи, без которых, пожалуй, немыслимы современные синтезные радиотелескопы метровых волн и глобальные фазостабильные системы, в том числе и других диапазонов, такие, как, например, единая европейская сеть или многоэлементная система VLBA [18].

Одной из главных задач для обеспечения нормальной работы всей системы является построение гетеродинной фазокогерентной системы. В МЕРЛИН эта задача решена оригинальным образом. Высокостабильные кварцевые гетеродины на выносных пунктах охвачены системой ФАПЧ с использованием сигнала частоты порядка 1500 МГц , передаваемого с центрального пункта от одного источника на все выносные пункты по радиорелейным каналам. Передача этого сигнала ведется радиочастотными импульсами с частотой повторения несколько Гц. Принимаемые сигналы на выносных пунктах, а также и на промежуточных ретрансляторах, расположенных по линии связи, используются, как уже отмечалось, для фазовой автоподстройки высокостабильных местных кварцевых генераторов. Кроме того, и в этом главная особенность, эти принятые на выносных пунктах сигналы используются для формирования сигналов, передаваемых в обратном направлении с выносных на центральный пункт, где они сравниваются по фазе с опорным сигналом частоты 1500 МГц . Передача в оба конца опорного сигнала дает возможность, во-первых, контролировать фазовую стабильность гетеродинов выносных пунктов и, во-вторых, измерять электрическую длину трассы для последующего включения компенсирующих задержек. Погрешность этих измерений, как отмечено в [14], составляет 1 мм на 150 км , т. е. порядка $5 \cdot 10^{-9}$.

Передачаadioастрономических сигналов с выносных на центральный пункт ведется по радиорелейным коммерческим линиям связи в полосе 10 МГц . Трассы для передачи этих сигналов и сигналов гетеродинов совпадают, и, как только что отмечалось, их электрическая длина контролируется с высокой точностью.

На центральном пункте принятые radioастрономические сигналы от шести антенн подаются к фазовращателям, которые управляются ЭВМ и предназначены для компенсации влияния вращения Земли на частоту интерференции. Далее включены блоки задержек: аналоговые от 0 до 75 нс и цифровые с максимальной задержкой 1 мс (шаг 50 нс). В блоке цифровых корреляторов сигналы от шести элементов МЕРЛИН коммутируются так, чтобы образовать 15 комбинаций интерферометров и сформировать синусно-косинусные выходы для определения амплитуды и фазы комплексного коэффициента видимости. Всего сформировано 16 комплексных каналов (32 входа) по 32 задержки на канал. Первое усреднение проводится в блоке корреляторов с постоянной времени 1 с.

Дальнейшая обработка и накопление информации ведется на центральной ЭВМ, которая также управляет работой аппаратуры центрального пункта. На каждом выносном пункте установлена управляющая ЭВМ, работающая в реальном времени с антенной и аппаратурой. Построение радиоизображений наблюдаемых объектов проводится постобработкой результатов наблюдений с широким использованием

процедуры коррекции за диаграмму (CLEAN) с доведением уровня боковых лепестков синтезируемой диаграммы до 5% (в общем случае высоких из-за плохого заполнения u , v -плоскости в МЕРЛИН).

Как уже отмечалось, для синтезных систем, работающих на волнах около одного метра и длиннее, принципиальной трудностью является наличие сильных фазовых возмущений, приводящих к тому, что сабортуку информации приходится проводить либо при очень бедных сведениях о фазе пространственной гармоники, либо вообще при отсутствии такой информации.

В Джодрелл Бэнк применительно к МЕРЛИН была решена задача обработки результатов наблюдений сискаженной фазой и амплитудой и построен алгоритм КОРТЕЛ (коррекция телескопов), применяемый широко на обсерватории в комплексе с алгоритмом CLEAN для обработки данных [19, 20].

В алгоритме КОРТЕЛ предложено для определения амплитудных и фазовых ошибок в антенных синтезной системы использовать итерационную процедуру, основанную на замыкающих фазах и амплитудах, когда первоначальные ($N - 1$) дацных берутся из исходной модели, а остальные вычисляются из системы линейных уравнений, образованных на основе замыкающих соотношений. После коррекции амплитуд и фаз фурье-компонент в каждой точке отсчета строят новую карту, которая после процедуры коррекции за диаграмму заменяет первоначальную модель. Тонкость состоит в решении уравнений с учетом случайности фазовых и амплитудных ошибок и наличия шума.

Разрабатываемая в ФИАНе система апертурного синтеза на волну около метра во многом схожа с английской. Первый вариант системы апертурного синтеза предлагался из 20 полноповоротных параболоидов, 16 из которых диаметром 100 м устанавливались неподвижно, а 4 антенны диаметром 50 м выполнялись передвижными. Минимальная волна выбиралась равной 18 см. Максимальное базовое расстояние — 50 км. Разрешающая способность была порядка 1 угл. с при чувствительности по потоку около 0,05 мЯн за 12 часов наблюдения. Размещение элементов было нерегулярным. Связь между элементами предполагалось осуществлять по радиорелейным каналам. Гетеродинная система предлагалась с использованием передачи сигналов на «половинной частоте», как это примерно выполнялось в синтезном Ути-телескопе и VLA.

Диапазон рабочих частот выбирался таким, чтобы влияние ионосферы было минимальным. По проведенным в проекте ФИАН оценкам на волнах около 30 см система могла работать более 90% времени при уровне боковых лепестков синтезированного луча, вызываемых фазовыми возмущениями, менее 3% [25].

В процессе разработки проекта рабочая волна была увеличена до 50 см, что позволило более чем в два раза снизить стоимость антенного элемента. Но это привело к необходимости разработать алгоритмы коррекции фазовых возмущений за счет ионосферы на более длинных волнах [21]. Как известно, при создании систем апертурного синтеза большую часть средств приходится тратить на сооружение антенных элементов, и разработчики, как правило, стремятся к их упрощению. Для решения этой проблемы П. Д. Калачев предложил применить вантовые подвески больших зеркал на легких многоопорных каркасах. На основе этих предложений был разработан проект радиотелескопа РТ-100 ФИАН [22]. Основные параметры следующие: диаметр — 100 м, деформации (уклонения от вписываемого параболоида) — 10—15 мм, вес — 490 т, диаметр опорного кольца — 56 м. Облучение рефлектора на волнах до одного метра выполняется по

двуухзеркальной схеме Грегори. На более длинных волнах облучатели устанавливаются в первичном фокусе [23].

На первом этапе в качестве выносных антенн предполагается использовать передвижные полноповоротные антенны диаметром 20 м [24].

В диапазоне 100—110 МГц измерены параметры такой антенны (применен простой турникетный облучатель) и проведены интерференционные измерения в паре с антенной БСА ФИАН.

Как уже отмечалось выше, для построения фазостабильной системы в этом проекте также предполагалось использовать радиорелейные каналы связи, построенные с использованием промышленных ретрансляционных станций. Обработку информации при наличии возмущающего влияния ионосфера намечалось вести с использованием алгоритма построения приближения к истинному распределению радиояркости по фазовозмущенным откликам составляющих интерферометров, полученным в [21].

В заключение следует отметить, что, хотя системы апертурного синтеза для метровых и дециметровых волн не являются чем-то принципиально особенным и отличным от подобных инструментов на более коротких волнах, при их разработке возникают дополнительные трудности:

во-первых, проблемы построения фазостабильных систем с общим гетеродином при больших расстояниях между элементами;

во-вторых, проблемы создания больших по размерам и недорогих по стоимости антенных элементов;

в-третьих, проблемы поиска и построения алгоритмов, необходимых для реконструкции изображения в условиях больших фазовых возмущений.

Надо сказать, что как в созданных, так и в разрабатываемых системах апертурного синтеза эти проблемы находят свои технические решения, которые также используются и в системах для более коротких волн. Здесь имеются в виду способы передачи сигналов общего гетеродина и алгоритмы коррекции фазовых возмущений. Как уже отмечалось, синтезные системы, работающие в метровом диапазоне с разрешением в единицы—десятки угловых секунд, так же нужны астрофизике, как и системы сантиметровых волн. Известный ученый, один из пионеров апертурного синтеза, проф. А. Хьюиш в своем отзыве на проект ГЭРТ [13] писал проф. Сварупу: «Требования получения радиоизображений радиогалактик с высоким угловым разрешением привели к созданию радиотелескопов апертурного синтеза и VLA, США, работающих и создаваемых сейчас на самых коротких сантиметровых волнах. По-видимому, они удовлетворят наблюдателей на ближайшие годы. Однако дополняющие сведения на значительно более длинных волнах необходимы для правильного понимания физических механизмов радиоисточников.»

В заключение автор считает приятным долгом выразить благодарность Р. Д. Дагкесаманскому, Г. И. Добышу и М. В. Конюкову за долголетнее сотрудничество в разработке вопросов апертурного синтеза применительно к диапазону дециметровых и метровых волн. Автор выражает сердечную признательность проф. Дж. Дейвису, Джоши и Венугопалу, а также докт. Я. Морисону, Станнарду и Дж. Балдину за их любезную помощь и содействие в ознакомлении с радиотелескопами Кембриджского университета, МЕРЛИН и Ути-обсерватории.

ЛИТЕРАТУРА

- Христиансен У., Хегбом И. Радиотелескопы.—М.: Мир, 1972, гл. 7.
- Виткевич В. В.—Астрон. журн., 1952, 29, вып. 4, с. 450.
- Балинов В. В., Виткевич В. В.—Труды ФИАН, 1969, 47, с. 163.

4. Jennison R. C.—Monthly Not. Roy. Astr. Soc., 1958, 118, p. 276.
5. Twiss R. Q., Carter A. W. L., Little A. G.—Observatory, 1960, 80, p. 153.
6. Mullard Radio Astronomy Observatory.—Cambridge: Cawendish Laboratory, 1975, p. 1.
7. Baldwin J. E., Warner P. J.—Month. Not. Roy. Astr. Soc., 1976, 175, p. 345.
8. Baldwin J. E., Warner P. J.—Month. Not. Roy. Astr. Soc., 1978, 182, p. 411.
9. Сваруп, Багри.—ТИИЭР, 1973, 61, № 9, с. 154.
10. NRAO Staff, The VLA, A Proposal for a Very Large Array Radio Telescope, v. 1 and 2. Charlottesville, W. Va.: National Radio Astronomy Observatory, 1967.
11. Högbom J. A.—Astron. Astrophys. Suppl., 1974, 15, p. 417.
12. Subrahmanyam C. R.—Astron. and Astrophys., 1980, 89, № 1/2, p. 132.
13. Swarup G., Odhambo T. R., Okoye S. E. Proposals for the establishment of an international institute for Space Sciences and electronics in a developing country and the construction of a giant equatorial radio telescope as an international collaborative effort. A draft report. May, 1979.
14. Davies J. G., Anderson B., Morrison I.—Nature, 1980, 288, p. 64.
15. Bernard Levent. Out of the zenith. Jodrell Bank 1957—1970. Oxford university press: Melbourn, Toronto, 1973.
16. Warwick R. S., Daviss R. J., Spencer K. E.—Month. Not. Roy. Astr. Soc., 1976, 177, p. 335.
17. Ryle M.—Nature, 1972, 239, p. 435.
18. Swenson Jr. G. W., Kellermann K. I.—Science, 1975, 188, p. 1263.
19. Wilkinson P. N., Readhead A. C. S. Map making with non-phase stable interferometers. Image formation from coherent functions in astronomy. /Ed. C. Van Schooneveld. D. Reidel Publishing Company 1979, p. 83.
20. Cornwell T. J., Wilkinson P. N.—Month. Not. Roy. Astr. Soc., 1981, 196, № 3, p. 1067.
21. Конюков М. В. Препринт ФИАН № 134.—М., 1979.
22. Калачев П. Д., Назаров В. П., Емельянов И. А., Шубеко В. Л. Телескоп РТ-100. Тезисы докладов XI Всесоюзной радиоастрономической конференции.—Ереван, 1978, с. 194.
23. Бахрах Л. Д., Григорьева М. И., Илясов Ю. П., Калачев П. Д. Тезисы докладов XIV Всесоюзной конференции по радиоастрономии (аппаратура, антенны, методы).—Ереван, 1982, с. 198.
24. Калачев П. Д., Назаров В. П., Емельянов И. А., Шубеко В. А., Павлов Г. А. Тезисы докладов XI Всесоюзной конференции по радиоастрономии (аппаратура, антенны, методы).—Ереван, 1978, с. 197.
25. Алексеев Ю. И., Григорьева М. И., Дагкесаманский Р. Д., Добыш Г. И., Илясов Ю. П., Калачев П. Д., Конюков М. В., Кузьмин А. Д., Шитов Ю. П. Система апертурного синтеза дециметрового диапазона (технические предложения) ФИАН. 1974, Библ. РАС ФИАН, № 31.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
АН СССР

ИНФОРМАЦИЯ О НОВЫХ КНИГАХ

Нарасимхамурти Т. С. Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов: Пер. с англ.—М.: Мир, 1984 (III кв.)—37 л.

Книга, написанная известным индийским физиком, представляет собой первую в мире фундаментальную монографию, подводящую итог развития теории и эксперимента в области фотоупругих свойств аморфных и кристаллических тел и тесно связанных с фотоупругостью линейного и квадратичного электрооптических эффектов. Материал изложен последовательно и в легко доступной форме, что облегчает его усвоение даже для читателя, впервые знакомящегося с этой актуальной областью физики.

Для научных работников, инженеров, работающих в области физики кристаллов и ее приложения, а также студентов старших курсов.