

УДК 523.164:621.396

## АПЕРТУРНЫЙ СИНТЕЗ В СССР

*Ю. Н. Парийский*

Глубокое понимание принципов физической оптики пришло к нам, по-видимому, благодаря французской школе — еще Верде в середине девятнадцатого века пытался измерить размеры области когерентности от протяженного источника. К началу бурного развития радиоастрономии в СССР существовала одна из самых квалифицированных групп физиков в мире, ясно представляющих себе возможности интерферометрии: Мандельштам, Папалекси, Горелик, Хайкин. Радиointерферометрия в СССР на первых шагах развивалась на высоком уровне: это и двухэлементная интерферометрия в Крыму, и морской интерферометр, и синтез изображения Солнца с переменной базой (Пановкин), и начало строительства гигантского креста в ФИАНе. Однако, сейчас у нас нет нормально функционирующего радиотелескопа апертурного синтеза. РАТАН-600 только слегка заполняет эту брешь, так как мощные системы синтеза в США, Англии, Голландии, Австралии дают большее разрешение. Это значительно осложняет будущее отечественной радиоастрономии, связанное с созданием крупных национальных сетей радиотелескопов. Радиоастрономы едины во мнении, что этот шаг обязателен и неизбежен, если серьезно продолжать заниматься радиоастрономией. Беда в том, что для реализации этого проекта необходимо преодолеть длительный этап овладения культурой формирования качественных изображений с помощью фазостабильных (и не фазостабильных!) систем апертурного синтеза. Убежден, что проблема капитальных вложений в будущую сеть — это часть (и, возможно, меньшая) общей проблемы развития радиоастрономии в СССР. Средства можно выделить в централизованном порядке. Однако, во-первых, их надо «посеять» на «благодатную почву» — ее необходимо подготовить. Во-вторых, значительно труднее выдать в централизованном порядке идеологию и техническую политику сети радиотелескопов общего пользования.

Новизна положения по общественной сети состоит в том, что в течение долгих лет необходима согласованная работа по единой идеологии и по единым техническим решениям многих радиоастрономических коллективов.

Это обстоятельство накладывает особый отпечаток на деятельность головной организации по созданию «сети».

Школа по апертурному синтезу — прекрасное начинание по «кликбезу». Надо по крупицам собирать все, что накоплено различными коллективами, информировать о положении за рубежом и главное — готовить новое поколение радиоастрономов. Здесь желательно внимательно изучить все примыкающие к проблеме синтеза направления. В Горьком были проведены первые эксперименты в СССР по независимой интерферометрии (Троицкий В. С., Алексеев В. А.), здесь же сделаны первые

шаги по освоению типового элемента фазостабильной сети (Цейтлин Н. М., Разин В. А.) и накоплен богатый опыт по созданию отдельных элементов сети (Алексеев В. А.)

ИКИ АН СССР (с участием КраО) — единственная в СССР организация, имеющая опыт постоянной работы в качестве элемента Европейской и Глобальной сети (Матвеевко Л. И.) на оборудовании, изготовленном в США и Европе.

Сейчас по крайней мере в четырех организациях имеется разнообразное дорогостоящее оборудование, на изготовление которого радионаучные организации израсходовали около 1000 человеко-лет трудовых ресурсов. Системы типа Марк I имеются в ИКИ, НИРФИ, ЛФ САО, БАО АН АрмССР. Близки к завершению комплекты Марк II в ЛФ САО, в ИКИ и НИРФИ. Интенсивно разрабатываются сложные специализированные процессоры для одновременной корреляционной обработки больших массивов данных (НИРФИ, ЛФ САО, ИКИ, ЛПИ). Создаются все более и более претенциозные проекты — здесь и специализированные универсальные сети, и глобальные национальные, наземные, наземно-космические сети и даже чисто космические многоэлементные сети. Существуют проекты, предлагающие использовать базы больше диаметра Земли — в 5, 100 и в 10000 раз. Все эти захватывающие проекты, однако, говорят лишь о потенциальных возможностях этого направления и мало приближают нас к реальным наблюдениям, до тех пор пока не будет подготовлена та самая почва, о которой мы говорили ранее.

Какие направления примыкают к проблеме создания полноправного апертурного синтеза?

**1. Связь и цифровая связь.** Особенно внимательно надо изучать опыт наземной и космической связи. Успехи ее настолько динамичны, что многие радионаучные группы в СССР и за рубежом уверены, что эти успехи заставляют вернуться от «независимой» интерферометрии к сетям, связанным цифровыми каналами. Интересна и экономическая сторона — такая связь оказывается часто дешевле стандартного магнитофонного варианта. Блестящим примером «связанной» сети является 127-километровая национальная сеть в Англии. В СССР следует активно поддерживать работы ФИАН по широкому использованию релейных линий. Специалисты утверждают, что информативность каналов связи нового поколения неограниченна; если необходимо, то можно использовать оптические каналы связи, просто нет потребителей столь широких полос. Фридман обратил внимание на конкурентоспособность волоконных линий связи. Важно также, что радиоастрономам нет необходимости создавать эти линии связи — надо иметь ими пользоваться. Научившись связывать антенны по телефонным или телевизионным каналам на Земле, радиоастроном уже близок к использованию их через спутниковую связь. Напомним, что стремление вернуться к эпохе «связанных» радиотелескопов вызвано желанием создать полный эквивалент фазостабильной сети, работающей в реальном масштабе времени и круглосуточно, т. е. перейти от разовых рекордов к систематической эксплуатации предельных «возможностей».

**2. Оптические и гибридные методы обработки сигналов.** Это направление много обещает, и в последние годы в него вкладываются большие средства. В этой области вышли вперед японские радиоастрономы. Их новый проект апертурного синтеза реализуется с широким внедрением оптико-акустических спектрографов, хотя от оптического процессора они пока отказались. Однако представленная Генеральной Ассамблеей МАС в 1982 г. спектрограмма туманности Ориона в миллиметровом диапазоне

заставляет серьезно отнестись к предложениям использовать эту идеологию в многоэлементных сетях. В СССР наиболее успешной оказалась работа группы ЛФ САО в содружестве с ЛПИ. Им удалось довести ОАП до наблюдений как в линии 21 см, так и в линии водяного пара. Имеются предложения о создании и линий задержек на основе ПЗС-матриц.

**3. Полевые транзисторы.** В последние годы стало очевидно, что проблема создания и, главное, эксплуатации высокочувствительных приемно-измерительных комплексов многоэлементных сетей может быть резко упрощена и удешевлена: расходы на сооружение усилителей с шумами, близкими к предельным (до 10—40 К), могут быть снижены на два порядка, а эксплуатационные расходы практически исчезают.

**4. Голография.** Современный подход к физической оптике сближает разные направления исследований. Близость понятий голограммы и фазостабильной интерферометрии очевидна. Очень близки задачи борьбы с рассеянием и фазовыми искажениями в оптике и в радиоастрономии. «Глобальный» радиотелескоп (а еще лучше — «эклиптический») по существу строит трехмерную голограмму Мира. Проблема устранения влияния тропосферных флуктуаций фазы в больших решетках близка к проблеме «обращения фронта» волны, прошедшей через рассеивающую среду. Успех оптической голографии является успехом и радиоастрономии. Метод опорных объектов в условиях ветрового сноса турбулентной атмосферы напоминает методы «динамической голографии» и т. п.

В заключение несколько слов о сближении различных типов радиотелескопов.

С. Э. Хайкин в 1955 году предложил разделить все типы радиотелескопов на «радиорефракторы» и «радиорефлекторы». Те и другие имеют свои достоинства и недостатки. В 70-х годах стало ясно, что многоэлементные решетки (рефракторы) могут устранять многочисленные aberrации в системе методом опорного объекта, по существу превращая себя в некоторый аналог самонастраивающейся сети (ср. опять идеи динамической голографии). Самый яркий пример — VLA, где на волне 1,35 см приходится обращаться к опорному объекту почти непрерывно (через каждые 5 минут), чтобы изображение не разваливалось. Учет интерференционных откликов от опорных объектов позволяет восстановить плоский фронт излучения искомого объекта (аналог обращения фронта в голографии). Обращение к опорному объекту происходит через интервалы времени, определяемые выражением

$$\Delta\varphi = (\partial\varphi(t)/\partial t)\Delta t \ll 1.$$

Здесь  $\varphi(t)$  описывает характер деформации фронта в атмосфере и в самой системе.

Эта возможность адаптации кардинально упрощает многие проблемы фазостабильной интерферометрии.

Напомним, что в рефлекторных антеннах природа без вмешательства человека сразу реализует оба этапа формирования изображения: формирование фурье-образа объекта и фурье-преобразование этого фурье-образа. В рефракторных антеннах (решетках, антеннах апертурного синтеза) эти этапы разделены — наблюдатель по частям собирает фурье-образ объекта, а затем в вычислительной машине эти данные используются для построения радиоизображения. Новое поколение решеток (VLA, например) использует возможность вмешательства в процесс изображения после завершения первого этапа, чтобы устранить дефекты изображения, соответственно подправив фазы и амплитуды.

Можно ли это когда-нибудь осуществить в рефлекторных антеннах? Результаты исследований в последние годы подсказывают положительный ответ. Сейчас видны пути учета деформаций и рассеяния в полной мере при восстановлении полностью фронта падающей волны. Параболоид действует как система элементарных интерферометров с полным набором баз от 0 до  $D$  и с полным набором азимутов баз от 0 до  $360^\circ$ . Предположим, что мы научились записывать не квадраты амплитуд, а поле  $E$  в фокусе радиотелескопа. Райл продемонстрировал, как это легко осуществить, подсоединив к исследуемому радиотелескопу другой, опорный, который следит за опорным точечным источником. При этом в отклике  $E_1 \cdot E_2$  напряженность поля  $E_2$  остается постоянной, а обычное картографирование неба вокруг источника первым радиотелескопом позволяет определить диаграмму по полю первого радиотелескопа.

Фурье-преобразование от такой карты дает распределение амплитуд и фаз в раскрыве первого радиотелескопа, а следовательно, и всю необходимую информацию для вмешательства в процесс изображения на первом этапе, так как мы знаем погрешности каждой пары элементов поверхности радиотелескопа. Прделав ту же процедуру с исследуемым объектом, мы можем ввести (как и в VLA) все необходимые коррекции к амплитудам и фазам распределения поля в раскрыве первого зеркала и получить идеальное изображение, не искаженное деформациями.

В настоящее время эта идеология проверяется на многоэлементном рефлекторном радиотелескопе РАТАН-600 как с использованием наземных искусственных источников, так и по мазерным источникам в Галактике и по спутникам связи. Вместо второго опорного радиотелескопа используется либо искусственный сигнал (в наземных измерениях), либо часть поверхности радиотелескопа. При успешном движении по этому направлению рефлекторный радиотелескоп РАТАН-600 по возможностям коррекции изображений приблизится к рефракторным системам.

Ленинградский филиал Специальной  
астрофизической обсерватории  
АН СССР

---

### ИНФОРМАЦИЯ О НОВЫХ КНИГАХ

Сейсян Р. П. Спектроскопия диамагнитных экситонов. / С предисл. Б. П. Захарчени.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984 (III кв.)— 20 л.

Согласно современным представлениям диамагнитные экситоны ответственны за различные межзонные магнитооптические явления, которые служат основным средством качественного описания и количественного установления параметров энергетической зонной структуры полупроводников. В книге изложены основы теоретического описания спектров диамагнитного экситона, дано обоснование методов анализа спектров и расчета по ним параметров энергетических зон.

Для научных работников и инженеров-исследователей, занятых в различных областях физики полупроводников и полупроводниковой электроники, а также аспирантов и студентов старших курсов физических и физико-технических специальностей вузов.