

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ
СОВМЕСТНО С НАУЧНЫМ СОВЕТОМ ПО РАДИОАСТРОНОМИИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
(25—26 октября 1972 г.)**

25 и 26 октября 1972 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР и Научного совета АН СССР по радиоастрономии. На сессии были заслушаны доклады:

1. С. Я. Брауде, А. В. Мень. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 и задачи декаметровой радиоастрономии.
2. В. С. Троицкий. Радиоастрономические наблюдения с помощью интерферометров с независимым приемом (со сверхбольшими базами) в СССР.
3. М. М. Кобрин, А. И. Коршунов, В. В. Пахомов. О квазипериодических компонентах во флуктуациях солнечного радиоизлучения.
4. Ю. П. Шитов. Наблюдения пульсаров на Радиоастрономической станции ФИАН СССР.
5. В. В. Железняков. О происхождении излучения пульсаров.
6. Ю. Н. Парийский, Н. С. Кардашев. Проблемы создания больших радиотелескопов.

Ниже публикуется краткое содержание некоторых докладов.

523.164.4(048)

С. Я. Брауде, А. В. Мень. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 и задачи декаметровой радиоастрономии. Прогресс радиоастрономии существенно определяется уровнем измерительной техники, особенно радиотелескопов. До последних лет в декаметровом диапазоне ($\lambda > 10$ м), в отличие от более коротковолнового, отсутствовали достаточно эффективные инструменты с большой эффективной площадью и разрешением, работающие в широком секторе обзора с оперативной сменой программ. Специфика таких радиотелескопов — в необходимости сооружения антенн больших размеров, не позволяющих применять механические способы ориентировки инструментов. Из-за высокого уровня помех в этом диапазоне целесообразно применять широкополосные антенны с целью повысить помехозащищенность путем отстройки от помех и наблюдения на ряде частот одновременно. Высокая температура радиоизлучения космического фона и необходимость устранения эффекта «слуtywания» от приема космических сигналов побочными лепестками диаграммы направленности требуют применения в декаметровых радиотелескопах специальных методов модуляции сигналов и таких антенных систем, которые обеспечивают оптимальное согласование эффективной площади с разрешением и где может проводиться регулирование уровня бокового излучения.

Сложность многочисленных систем и устройств в современном радиотелескопе, в частности радиоэлектроники, используемой при немеханических способах управления лучом, приводит к принципиальной необходимости оптимизации его структуры для его сооружения. С целью разработки принципов построения приемных антенн, удовлетворяющих этим требованиям, в Институте радиофизики и электроники АН УССР в течение 1960—1970 гг. были построены и экспериментально исследованы четыре декаметровых радиотелескопа, работающих в диапазоне от 10 до 40 *Мгц*: интерферометр из двух параллельных 24-элементных решеток, интерферометр из двух ортогональных 128-элементных решеток, 208-элементный радиотелескоп УТР-1 и 2040-элементный радиотелескоп УТР-2^{1,2}. Исследования показали, что наиболее оптимальным типом антенн для декаметровых радиотелескопов являются многоэлементные широкополосные антенные решетки с электрическим управлением лучом. Они состоят из широкополосных излучателей с дополнительными согласующими

устройствами и систем фазирования и суммирования сигналов. Для широкополосности системы фазирования отказались от распространенного способа фазирования с помощью дисперсионных фазовращателей и использовали временный способ фазирования с помощью линий временной задержки.

Для иллюстрации рассмотрим подробнее последний из декаметровых радиотелескопов ИРЭ АН СССР УТР-2, построенный на основе указанных принципов². Он имеет оптимальную с точки зрения согласования чувствительности и разрешения конфигурацию в виде буквы Г, состоит из трех многоэлементных горизонтальных антенных решеток с размерами 900×60 м каждая, в центре которых располагается техническое здание. Две антенны (северная и южная) ориентированы вдоль меридиана, третья (западная) — вдоль параллели. Первые две состоят из 1440 излучателей, образующих с севера на юг 6 рядов по 240 элементов в ряду. Третья антенна содержит 600 излучателей — 6 рядов с запада на восток по 100 элементов в ряду. Все 2040 излучателей УТР-2 — симметричные широкополосные горизонтальные вибраторы щунтового типа, ориентированные вдоль направления запад — восток. Во всех трех антеннах — электрическое фазирование сигналов временным способом по двум координатам. Вначале ведется фазирование и суммирование сигналов вдоль коротких сторон решеток с помощью 240 синхронно управляемых по одной координате идентичных блоков фазовращателей в северной и южной антеннах и 100 таких же устройств, управляемых по второй координате, — в западной антенне. В каждой фазовращателе фазирование и суммируются ВЧ сигналы 6 излучателей одного ряда. Затем проводится фазирование сигналов вдоль длинных сторон решеток в северной и южной антеннах по 4-этажной схеме из 73 фазовращателей и в западной антенне — по 3-этажной схеме из 25 фазовращателей. На выходе западной антенны включен еще один блок фазирования, обеспечивающий взаимное фазирование антенн.

Все фазовращатели радиотелескопа состоят из переключаемых с помощью реле и набираемых по двоичному коду линий (разрядов) временной задержки из отрезков ВЧ коаксиального кабеля. Суммирование сигналов в фазовращателях всех этажей приводится без связи между объединяемыми каналами с помощью широкополосных гибридных сумматоров на ферритах. Управление всеми устройствами, фазированными и суммирующими сигналы вибраторов и групп вибраторов, размещенных вдоль линии меридиана, проводится с помощью 11 управляющих сигналов (разрядов); управление по второй координате — 10-разрядное. Таким образом, всего в секторе обзора может быть использовано более $2 \cdot 10^6$ направлений ориентировки луча. Управление аппаратурой фазирования — дистанционное с пульта центральной аппаратуры, в силу чего ориентация луча радиотелескопа может изменяться за доли секунды. Для обеспечения высокой точности воспроизведения заданной диаграммы направленности, к. п. д. и к. п. д. инструмента, во всех ВЧ цепях и коммуникациях системы фазирования в рабочем диапазоне частот проведены точное согласование импедансов и прецизионная настройка электрических длин линий временной задержки; с помощью 2040 специальных реактивных четырехполюсников проведено широкополосное согласование импедансов всех излучателей с волновым сопротивлением системы фазирования. Согласующие устройства располагались в центрах вибраторов и подключались к ним через широкополосные симметрирующие переходы на ферритах.

Из-за больших размеров и широкого сектора обзора антенн и связанных с этим больших потерь в коммуникациях и аппаратуре фазирования в радиотелескопе применена двухэтажная распределенная система встроенных антенных усилителей. Вначале компенсация потерь проводится с помощью 12 усилителей, включенных на выходах секций, содержащих по 180 излучателей в северной и южной антеннах и по 150 — в западной. Второй ярус, содержащий 9 антенных усилителей, подключен к выходам всех антенн до блока формирования лучей. Для высокой чувствительности и помехозащищенности антенных усилителей по тепловым шумам и по комбинационным помехам в них применена специально разработанная схема широкополосного усиления с согласованным разделением всей усиливаемой полосы частот на ряд узкополосных каналов и последующим их сложением после усиления. В радиотелескопе предусмотрена эффективная автоматическая система защиты и поиска неисправностей, в частности система автоматического контроля, позволяющая по точному виду диаграммы контролировать исправность антенны в целом, проверять амплитуды и фазы сигналов во всех каналах системы фазирования и определять исправность вибраторов решеток.

Сооружение и запуск в эксплуатацию радиотелескопа УТР-2 с уникальными характеристиками позволяет развернуть широкие радиоастрономические исследования в декаметровом диапазоне. Большая эффективная площадь (около $150\,000$ м²), высокое разрешение ($20' \times 20'$ на частоте 25 МГц), широкий сектор обзора (150° по склонению и от 8 до 24 часов по прямому восхождению) с возможностью быстрой смены луча, широкополосность радиотелескопа существенно отличают его от всех работающих в этом диапазоне инструментов. Для учета рефракции в ионосфере и повышения объема информации радиотелескоп УТР-2 работает одновременно пятью лучами, размещенными в пространстве по склонению. В каждом луче измерения ведутся на шести частоте

тах в диапазоне от 10 до 25 $M\mu$, поэтому радиоприемная аппаратура УТР-2 состоит из 30 радиометров с системами аналоговой и цифровой записи. Основной режим работы инструмента — модуляционный. В этом режиме формируется «карандашный» луч путем переключения диаграмм направленности западной и северо-южной антенн методом дискретной фазовой модуляции. Одновременно может вестись прием в модуляционном и компенсационном режимах всеми антеннами УТР-2 и их секциями как раздельно, так и при различных совместных вариантах их включения.

Остановимся кратко на задачах, которые будут решаться на УТР-2. Основные проводимые исследования на нем — это обзор дискретных и протяженных источников космического радиоизлучения для составления каталогов их спектров, определения угловых размеров и распределения радиояркости в декаметровом диапазоне. Ведутся также измерения радиоизлучения «спокойного» Солнца, солнечных вспышек и покрытия солнечной сверхкороткой космических дискретных радиопоточников. Регулярно наблюдаются радиоизлучение пульсаров и покрытия космических радиопоточников Луной. Ведется поиск теплого радиоизлучения планет Солнечной системы. С помощью УТР-2 по радиоизлучению космических источников можно изучать рефракцию, затухание и флуктуации радиоволн в ионосфере. После некоторого изменения режима работы инструмента планируется использовать его для составления карт распределенного космического радиоизлучения и, в частности, областей поглощения этого излучения в облаках ионизованного водорода. Ведутся подготовительные работы по созданию на основе УТР-2 нескольких радиointерферометров с большими базами для измерения угловых размеров радиопоточников. Проведение этих и ряда эпизодических программ позволит в ближайшие годы существенно расширить объем информации о космическом излучении, получаемой в декаметровом диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Л. Базелян, Ю. М. Брук, И. Н. Жук, А. В. Мень, И. К. Шарыкин, *Электросвязь* 5, 14 (1964); Л. Л. Базелян, Ю. М. Брук, И. Н. Жук, А. В. Мень, Л. Г. Содин, И. К. Шарыкин, *Изв. вузов (Радиофизика)* 7, 215 (1964); Ю. М. Брук, П. Ю. Гончаров, А. В. Мень, Л. Г. Содин, И. К. Шарыкин, *ibid.* 10, 608 (1967); Ю. М. Брук, И. Ю. Гончаров, И. Н. Жук, Г. А. Ицютин, А. В. Мень, Л. Г. Содин, И. К. Шарыкин, *ibid.* 11, 28.
2. С. Я. Брауде, Ю. М. Брук, П. А. Мельяновский, А. В. Мень, Л. Г. Содин, И. К. Шарыкин, *Препринт № 7 ИРЭ АН УССР*, Харьков, 1971.

523.164.4(048)

В. С. Троицкий. Радиоастрономические наблюдения с помощью интерферометров с независимым приемом (со сверхбольшими базами) в СССР. Применение интерферометров в радиоастрономии позволило проводить измерения угловых размеров источников с высоким разрешением, исчисляемым в долях ширины интерференционного лепестка, равной $\Delta = \lambda/d$, где d — расстояние между антеннами, λ — длина волны. Увеличение разрешающей силы интерферометра путем увеличения базы наталкивалось на непреодолимые трудности создания больших линий связи обоих пунктов, необходимых для сложения сигналов и передачи гетеродинажных напряжений. Примерно с 1965 г. в США, Канаде и СССР (в Научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ), г. Горький) начались разработки интерферометров с независимым приемом, основанные на записи сигналов в каждом пункте с последующим воспроизведением и обработкой. При этом в качестве гетеродинов использовались в каждом пункте квантовые генераторы, обеспечивавшие также точные метки времени на запись сигнала (см., например, ¹).

В США и Канаде первый трансконтинентальный интерферометр заработал на волне 67 см в 1967 г. У нас в СССР первый интерферометр с независимым приемом на основе рубидиевых стандартов частоты и обработкой на машине БЭСМ-4 был создан в 1969 г. С помощью этого интерферометра в 1969—1970 гг. были проведены измерения размеров двух квазизвездных источников на волне 3.5 м с базой 230 км с использованием антенн ФИАН. Ширина лепестка составляла $\Delta = 3''$. Эти измерения на УКВ с большой базой являются первыми и пока остаются единственными ². В табл. I приведены полученные результаты в сравнении с зарубежными данными, имеющимися только для более коротких волн, при близких значениях d/λ . Основной результат измерений состоит в том, что размеры указанных квазаров на существенно более длинной волне оказались примерно такими же, как на дециметровых волнах. Отсюда следует важный вывод, что гало, если оно есть, велико и что рассеяние на неоднородностях межзвездной и межпланетной среде не приводит к существенному увеличению

Таблица I

$$\lambda = 3,5 \text{ м}, d = 230 \text{ км}, \Delta = 3''$$

Источник	Частота, Мгц	d/λ	Видимость γ	Угловые размеры источника, угл. сек	Позиционный угол θ	Литература
3С 298	86	$6,5 \cdot 10^4$	0,94	$\leq 0,4$	32	Доклад Работа ³
	1422	$4,7 \cdot 10^5$	0,65	0,2	150	
3С 380 (V)	86	$6,5 \cdot 10^4$	0,8	0,9	24	Доклад Работа ³ » ⁴
	1422	$6 \cdot 10^5$	0,43	0,4	0—180	
	2695	$8,32 \cdot 10^4$	0,76	0,8	—	

В 1972 г. в НИРФИ совместно с Бюраканской астрономической обсерваторией (БАО) АН Арм. ССР была создана более совершенная интерферометрическая система с обработкой на машине «Раздан-3» вычислительного центра АН Арм. ССР и совместно с КАО были проведены измерения на волне 75 см с базой Бюракан — Симеиз, равной 1 100 км, при ширине лепестка $\Delta = 0,15$ ($d/\lambda = 1,3 \cdot 10^6$). Результаты этих измерений в сравнении с данными других авторов на той же волне приведены в табл. II, из которой можно видеть, что размеры источников при сравнимых пространственных частотах

Таблица II

$$f = 408 \text{ Мгц}, \lambda = 73 \text{ см}, d = 1100 \text{ км}, \Delta = 0,15''$$

Источник	Частота, Мгц	$d/\lambda \cdot 10^{-6}$	Види- мость γ	Угловые размеры источника, угл. сек	Позиционный угол θ	Литера- тура
3С 147	408	1,3	0,27	0,11	58	Доклад Работа ⁵ Работа ⁶
	408	1,12	0,22	0,13	126	
	1400	2,6	0,2	0,07	128	
3С 273В (V)	408	1,3	0,9	$\leq 0,03$	58	Доклад Работа ⁵
	408	4,6	0,48	0,02	95	
3С 286	408	1,3	0,63	0,07	58	Доклад Работа ⁵ Работа ⁶
	448	1,33	0,5	0,08	52	
	1400	1,75	0,75	0,04	170	
3С 454,3 (V)	408	1,3	1,0	$\leq 0,03$	58	Доклад Работа ³
	2690	1,1	0,96	$\leq 0,02$	0—180	
	4998	2,1	0,99	$< 0,02$	0—180	

d/λ практически одинаковы для существенно разных направлений сечения источника (разных позиционных углов). Показано, что эти источники практически симметричны.

За рубежом главное развитие интерферометрии идет в направлении разрешения все более мелких деталей путем увеличения d до диаметра Земли и уменьшения волны. У нас развиваются исследования на метровых и декаметровых волнах. Важность этого направления очевидна, так как оно приносит данные о протяженных структурах источников типа гало или оболочек сверхновых и т. п. Вместе с тем измерения на УКВ и декаметровых волнах дают сведения о неоднородностях структуры межзвездной и межгалактической сред. Интерферометрические исследования с независимым приемом на декаметровых волнах начаты в НИРФИ в 1971 г. К настоящему времени проведены измерения размеров остатка сверхновой — Кассиопей А — на волне 33 м (9 Мгц). Заметим, что измерения размеров этой сверхновой не простирались ниже частоты 100 Мгц, за исключением единственного измерения на волне 15 м, выполненного в 1959 г. с помощью морского радиоинтерферометра ⁷. Автор этой работы получил размер источника равным 9 и делает вывод о существовании у источника большого гало. Измерения в диапазоне 33 м представляли большие трудности из-за амплитудных и фазовых мерцаний источника. Для наблюдений выбиралось время, когда критиче-

ские частоты ионосферы были не выше 2—3 *Мгц*. Среднее из нескольких сотен измерений показало, что видимые размеры Кассиопеи А на волне 33 м составляют $8,5' \pm 1'$. Однако это увеличение размеров в два раза по сравнению с размерами для дециметровых волн, как показал анализ измерений, связано скорее всего с дифракцией на неоднородностях ионосферы. Собственные размеры Кассиопеи А оказались примерно равными $5' \pm 1'$. Увеличение размера на 1 может быть объяснено рассеянием в межпланетной среде.

Таким образом, граница оболочки сверхновой оказывается, по-видимому, одинаковой в диапазоне от сантиметровых до декаметровых волн. Сейчас измерения Кассиопеи А продолжают на частотах 6, 9, 13 и 25 *Мгц*. В феврале — марте 1971 г. Институтом радиотехники и радиоэлектроники АН УССР (г. Харьков) проводились измерения на частоте 25 *Мгц* ряда квазизвездных источников с использованием антенны УТР-2 с базой Горький — Харьков, равной 900 км. Была сделана попытка измерения угловых размеров источников ЗС 196, 254, 273 и 144 (Крабовидная туманность). Интерференция обнаружена только от Крабовидной туманности, причем всего за 1% времени наблюдения, равного 630 сек. Это связано с плохим состоянием ионосферы в период наблюдений *).

В 1969 и 1971 гг. проводились советско-американские измерения размеров компактных деталей источников с базой Сименз — Грин-бэнк на волнах 6; 2,7 и 1,35 см, выполнявшиеся с советской стороны ФИАНом, Институтом космических исследований, КАО и др. В этих измерениях использовалась аппаратура, привозимая из США; обработка данных проводилась на американских ЭВМ⁸. Показано существование компактных источников размера менее 0,3 *мсек*

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Алексеев, Э. Д. Гатэлюк, В. Д. Кротиков, В. Н. Никопов, В. С. Троицкий, А. И. Чикин, Изв. вузов (Радиофизика) 13, 5 (1970).
2. В. А. Алексеев, М. А. Аптонен, В. В. Виткевич, Э. Д. Гатэлюк, П. С. Живора, В. Д. Кротиков, А. Е. Крюков, В. С. Троицкий, А. И. Чикин, В. А. Шемагин, М. В. Янжавцев, Б. П. Фатеев, *ibid.* 14, 1303 (1971).
3. W. Donaldson, G. K. Mileu, H. P. Palmer, H. Smith, Mon. Not. RAS 146, 213 (1969).
4. J. P. Bosart, B. G. Clark, I. S. Cromer, Publ. Astron. Soc. Pacific 86, 273, 474 (1968).
5. N. W. Broten, R. W. Clarke, T. H. Legg, J. L. Locke, T. A. Calt, J. L. Yen, R. M. Chisholm, Mon. Not. RAS 146, 313 (1969); R. W. Clarke, N. W. Broten, T. H. Legg, J. L. Locke, J. L. Yen, *ibid.*, p. 381.
6. B. G. Clark, K. I. Kellerman, C. C. Bare, M. H. Cohen, D. L. Jaunsey, Astrophys. J. 153, 705 (1968).
7. G. Weber, J. Geophys. Res. 64, 287 (1969).
8. K. I. Kellerman, D. L. Jaunsey, M. H. Cohen, B. B. Shaffer, B. G. Clark, J. Broderick, B. Rönnang, O. F. H. Rydebeck, L. Matveyenko, I. Moiseyev, V. V. Vitkevitch, B. F. C. Cooper, R. Batchelor, Astrophys. J. 169 (1, pt. 1), 1 (1971).

523 164.32(048)

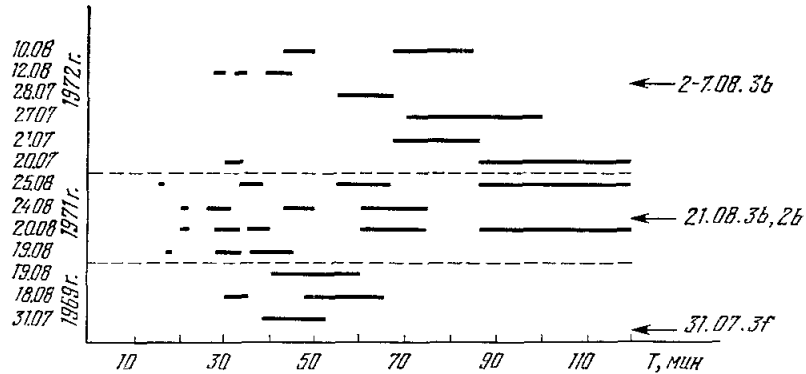
М. М. Кобрин, А. И. Коршунов, В. В. Пахомов. О квазипериодических компонентах во флуктуациях солнечного радиотизлучения. Исследования флуктуаций радиоизлучения Солнца, проводившиеся в НИРФИ, привели к обнаружению в 1964 г. квазипериодических компонент (КПК) в спектре интенсивности радиоизлучения Солнца с периодами около 300 сек, интенсивностью до 2% излучения Солнца. Дальнейшие исследования, проведенные на специальных радиотелескопах с применением квазиулевого метода, позволили обнаружить делую серию КПК с периодами от 100 до 1000 сек и доказать их солнечное происхождение. КПК были обнаружены (при отсутствии всплесков радиоизлучения) на волнах 8 мм, а также 2, 3, 10, 30 и 60 см и в поляризации на волне 3,3 см. На 22-м радиотелескопе ФИАН на волне 8 мм была обнаружена связь КПК, имеющих периоды $T = 180, 600—900$ сек, с активными областями. Периоды КПК, обнаруженных

*) Приведенные выше результаты получены большим коллективом авторов (работающим главным образом в НИРФИ), от имени которого и сделано настоящее сообщение. Результаты докладывались на VII Всесоюзной конференции по радиоастрономии (Горький, 1972 г.) и опубликуются в журнале «Известия вузов (Радиофизика)» в материалах конференции.

в радионизлучении, совпали с периодами КПК поля скоростей и интенсивности излучения, определенных оптическими методами для фотосферы и нижней хромосферы.

Существование КПК было подтверждено и рядом других авторов (Гельфрейх, Симон-Шимабакуро и др.). Проведенные в 1971 г. эксперименты с радиотелескопами, разнесенными на 1500 км, подтвердили основные характеристики КПК в упомянутом диапазоне. Начиная с 1969 г. проводились исследования флуктуаций с целью изучения долгопериодных КПК с периодами больше 1000 сек. В 1969 г. на волне 3 см были обнаружены КПК с периодами 33 и 50 мин. Было высказано предположение о возможности обнаружения модуляции радионизлучения собственными механическими колебаниями Солнца и проведены соответствующие расчеты. Позднее аналогичные периоды были обнаружены в фотосфере.

В 1971 и 1972 гг. были поставлены специальные эксперименты на волне 3 см с разнесенными телескопами: Горький — Кисловодск и Горький — Чукотка.



На рисунке приведены экспериментальные данные о спектрах флуктуаций интенсивности радионизлучения в 1969, 1971 и 1972 гг. Горизонтальные линии для соответствующих дат отмечают наличие и ширину максимумов в наблюдавшихся спектрах (в пределах доверительного интервала). Данные со стрелками указывают на наличие и класс мощных хромосферных вспышек. На рисунке видно наличие целой серии КПК с периодами от 10 до 120 мин. Полученные периоды оказались в хорошем соответствии с периодами альфеновских волн, обнаруженных в солнечном ветре.

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1) Обнаружены в радионизлучении Солнца КПК с периодами от 100 сек до 2 час, что явилось, насколько можно судить, первым экспериментальным подтверждением наличия волновых движений в короне Солнца. Изучение этих движений может помочь решить проблему нагрева короны и транспорта энергии солнечному ветру.

2) Дискретный характер спектра флуктуаций радионизлучения является отражением наличия собственных частот существующих в атмосфере Солнца дискретных пространственных структур. Изучение КПК открывает возможности изучения этих структур, их параметров и динамики происходящих в них процессов. В случае обнаружения собственных колебаний Солнца открывается возможность получать данные о его внутренней структуре.

3) Наличие связи КПК с активностью Солнца (амплитуда отдельных КПК, в частности с периодами 180, 600—900 сек) позволяет надеяться на получение новой информации об активных областях. Можно надеяться, что изучение КПК даст новые материалы для прогнозирования солнечной активности.

4) Наличие волн в атмосфере Солнца сказывается на модуляции не только оптического и радионизлучения, солнечного ветра, но, очевидно, и рентгеновского и ультрафиолетового излучения. Поэтому изучение этих волновых движений, несомненно, представляет интерес не только для гелиофизики, но и для физики межпланетного пространства и геофизики.

Материалы доклада опубликованы в работах: М. М. К о б р и н, А. И. К о р ш у н о в, А. И. Ч а н д а е в, Астрон. цирк. № 575, 1 (1970); М. S. D u r a s o v a, М. М. К о б р и н, О. О. Y u d i n, Nature 229 (5282), 83 (1971); М. М. К о б р и н, Сборник докладов сессии Научного совета по комплексной проблеме «Радиоастрономия», (ИЗМИРАН, 13—16 октября 1970 г.), М., ИЗМИРАН, 1972; М. М. К о б р и н, А. I. K o r s h u n o v, Solar Phys. 25, 339 (1972); В. И. А л е ш и н, М. М. К о б р и н, А. И. К о р ш у н о в, Изв. вузов (Радиофизика) 16 (1973); М. М. К о б р и н, В. В. П а х о м о в, М. С. Д у р а с о в а, Б. В. Т и м о ф е е в, Н. А. П р о к о ф ь е в а, Е. И. Л е б е д е в, Г. А. Л а в р и н о в, ibid.; В. В. П а х о м о в, С. Д. С н е г и р е в, Астрон. цирк. (1973).

523.164.4(048)

Ю. П. Шитов. Наблюдения пульсаров на Радиоастрономической станции ФИАН СССР. Исследования пульсаров на Радиоастрономической станции (РАС) ФИАН СССР были начаты сразу же после сообщения об их открытии весной 1968 г. Эти работы, начавшиеся по инициативе и при непосредственном участии В. В. Виткевича, успешно продолжаются и в настоящее время. Наблюдения за радиоизлучением пульсаров проводятся на радиотелескопе ДКР-1000

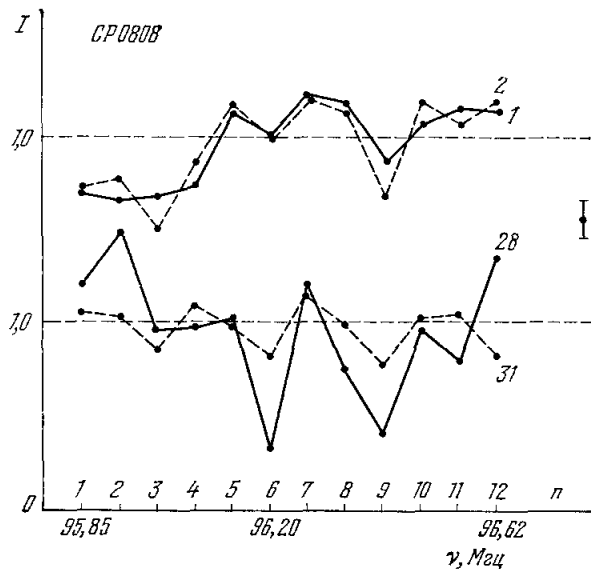


Рис. 1.

(на антенне восток — запад) в диапазоне 40—120 Мгц с использованием нескольких многоканальных специализированных радиометров. В течение последних двух лет (1971—1972 гг.) коллективом сотрудников лаборатории радиоастрономии ФИАН был получен ряд новых важных результатов исследования как самих пульсаров, так и их межзвездной плазмы.

1 Большой интерес представляют пульсары, имеющие сложную форму импульсов, состоящих из двух или более субимпульсов. По отношению к этим пульсарам возникает вопрос: обусловлена ли сложная структура импульса соответствующей сложной формой диаграммы направленности радиоизлучающей области или же каждому субимпульсу соответствует своя самостоятельная область излучения?

Исследования пульсара CP 1133 показали, что его субимпульсы I и II имеют существенно различные амплитудно-временные и поляризационные характеристики радиоизлучения. Отсюда сделан вывод, что субимпульсы I и II излучаются отдельными самостоятельными активными областями в пульсаре, расположенными на угловом расстоянии $\approx 12^\circ$. Аналогичный вывод можно сделать, по видимому, и о других подобных пульсарах — AP 1237, PSR 2045, NP 0525 и др.

2 Особое место занимают пульсары, имеющие так называемую *периодичность второго класса*³. Характерным представителем этого типа пульсаров является пульсар CP 0808, субимпульсы которого совершают регулярный дрейф внутри окна радиоизлучения⁴. Существует две модели, объясняющие дрейф субимпульсов: а) пульсирующе-вращающаяся³ и б) модель с дифференциальным вращением областей

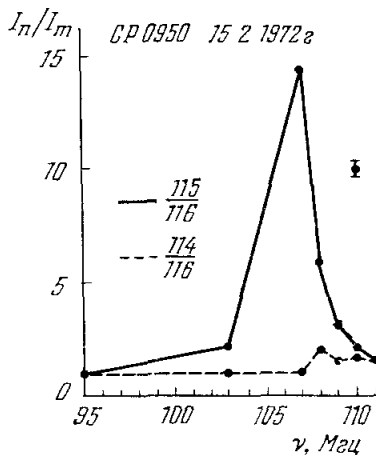


Рис. 2.

радиоизлучения относительно поверхности нейтронной звезды⁸; при этом однозначного, решающего аргумента в пользу той или другой модели до недавнего времени не было. Детальный анализ периодического процесса второго класса у пульсара CP 0808 показал, что между периодами P , P_1 и P_3 в ряде случаев явно нарушается зависимость $P = 24P_1P_3/(P_1 + 24P_3)$, которая должна быть в пульсирующе-вращательной модели. Таким образом, в действительности дрейф субимпульсов пульсара CP 0808 (по-видимому, и других подобных пульсаров) обусловлен дифференциальным вращением областей радиоизлучения (их диаграмм направленности) относительно поверхности нейтронной звезды.

3. В спектрах радиоизлучения пульсаров CP 0808, CP 0834, CP 0950, CP 1133 и CP 1919 обнаружена тонкая структура, присущая самому процессу излучения (помимо той, которая обусловлена дифракцией на неоднородностях межзвездной плазмы). Тонкая структура имеет характерные масштабы на частотах 200—300 кГц и менее 70 кГц и меняется за характерное время меньше периода пульсара со среднеквадратичной модуляцией интенсивности $\approx 30\%$ ⁷. Примеры спектров отдельных импульсов CP 0808 показаны на рис. 1 (8.12.1970 г.).

У некоторых импульсов пульсара CP 0950 обнаружены случаи резкого увеличения интенсивности радиоизлучения в сравнительно узкой полосе частот $\Delta\nu = 1-3$ МГц⁸. Это увеличение, достигающее 10 раз и более, наблюдалось в районе частоты 110 МГц; оно показано на рис. 2, где приведены отношения спектров трех последовательных импульсов CP 0950 (№ 114—116). Оба эти явления, обнаруженные в спектрах пульсаров, могут явиться ключом к пониманию механизма их радиоизлучения.

4. С помощью пульсаров весьма эффективно исследуется межзвездная плазма, которая в значительной степени определяет характер принимаемого радиоизлучения от пульсаров. По измеренным характерным масштабам тонкой структуры спектров в направлении целого ряда пульсаров были определены средневзвешенная продольная составляющая магнитного поля $H_{||}$ Галактики^{9, 10}, характерный размер a и среднеквадратичная величина электронной концентрации ΔN_e в неоднородностях межзвездной

Пульсар	a , 10 ¹⁰ см	ΔN_e , 10 ⁻⁵ см ⁻³	$H_{ }$, 10 ⁻⁶ эс
CP 0808	1,0	1,1	—
CP 0834	2,4	5,6	—
CP 0950	1,3	0,9	—
CP 1919	1,4	2,8	—
CP 1133	2,4	8,0	1,2
AP 1237	2,4	7,5	2,1
MP 0031	—	—	1,25
CP 0329	—	—	2,7
MP 0628	—	—	1,6
PP 0943	—	—	1,4
PSR 2218	—	—	0,95

плазмы^{2, 10} (см. таблицу). При этом были определены набеги фазы на неоднородностях до ближайших пульсаров CP 0808, CP 0950 и CP 1133 (по особенностям их спектров) и тем самым существенно уточнены параметры a и ΔN_e . Выявлено, что электронная концентрация в неоднородностях ΔN_e имеет, по-видимому, значительную анизотропию в Галактике¹⁰.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Виткевич, В. М. Малофеев, Препринт ФИАН СССР № 92, Москва, 1971; Ю. Н. Алексеев, В. В. Виткевич, В. М. Малофеев, ДАН СССР 205, 307 (1972); Nature (Phys. Sci.) 235, 167 (1972).
2. Ю. П. Шитов, Астрон. ж. 49, 470 (1972).
3. F. D. Drake, H. D. Graft, Nature 220, 231 (1968).
4. В. В. Виткевич, Ю. П. Шитов, ДАН СССР 191, 553 (1970); Nature 225, 248 (1970).
5. J. M. Sutton, D. H. Staelin, R. M. Price, R. Weimer, Astrophys. J. (Lett.) 159 (2, pt. 2), L89 (1970).

6. D. H. Staelin, M. S. Ewing, R. M. Price, J. M. Sutton, *ibid.* 160 (1, pt. 2), L7; В. В. Виткевич, Ю. П. Шитов, Изв. вузов (Радиофизика) 13, 1833 (1970).
7. В. В. Виткевич, Ю. П. Шитов, Астрон. цирк. № 740, 1 (1972); доклад на VII конференции по радиоастрономии (Горький, 1972).
8. В. А. Удаляцов, В. Н. Злобин, Доклад на XVII ассамблее УРСИ, Варшава, 1972.
9. В. В. Виткевич, Ю. П. Шитов, ДАН СССР 195, 53 (1970); *Nature* 226, 1235 (1970); Ю. П. Шитов, Астрон. ж. 48, 638 (1971); *Nature* 229, 179 (1971); В. В. Виткевич, В. М. Малофеев, Ю. П. Шитов, Астрон. ж. 48, 1333 (1971); В. А. Извекова, В. М. Малофеев, С. А. Сулейманова, Ю. П. Шитов, доклад на VII конференции по радиоастрономии (Горький, 1972).
10. Ю. П. Шитов, Канд. диссертация (ФИАН СССР, 1971).

523.164.4(048)

В. В. Железняков. О происхождении излучения пульсаров. Теория пульсаров содержит три основные проблемы: 1) тип и структура центрального тела — звезды, 2) строение и динамика окружающей оболочки — магнитосферы, 3) механизмы излучения пульсаров. Идеальным, но весьма сложным путем построения теории является последовательное решение этих проблем. Возможен более простой, но и более ограниченный подход, типичный для радиоастрономии; он заключается в отыскании таких условий в магнитосфере звезды, которые в рамках выбранного механизма обеспечат генерацию излучения с наблюдаемыми характеристиками. Возможность непротиворечивого выбора параметров излучающей системы позволяет при этом судить о реальности механизма излучения.

Исходя из общепринятого предположения, что пульсар — это вращающаяся звезда с сильным магнитным полем, допустим, что где-то в магнитосфере звезды, например над магнитным полюсом, локализован источник излучения. Если излучение имеет направленный характер, то на Земле при вращении звезды мы будем наблюдать периодические импульсы излучения. Поскольку направленность возникает у всех пульсаров в широком диапазоне, начиная с радиоизлучения и кончая γ -лучами, естественно предположить, что она есть следствие общего эффекта, не зависящего от конкретного механизма генерации. Формирование диаграммы направленности может происходить за счет релятивистского движения источника вокруг нейтронной звезды (модель Смита¹). Для этого источник должен локализоваться в районе светового цилиндра. В рамках этой модели можно объяснить ряд важных характеристик наблюдаемого излучения пульсаров²: 1) независимость или слабая зависимость длительности импульсов пульсара от частоты радиоизлучения — для степенного спектра, характерного для пульсаров; 2) изменение длительности субимпульсов по импульсу — у пульсара CP 1919, имеющего второй период; 3) особенности поляризации излучения пульсаров (поворот плоскости поляризации по импульсу, наблюдаемый в оптическом диапазоне у пульсара в Крабе и у ряда пульсаров на радиоволнах; своеобразное изменение знака поляризации в середине импульса CP 0328).

Различия в характере частотных спектров и величине эффективной температуры радиоизлучения и оптико-рентгеновского излучения, а также существование трех типов пульсаров (I — с излучением только в радиодиапазоне, II — с излучением только в рентгеновском диапазоне, III — с излучением в оптико-рентгеновском диапазоне) свидетельствуют о важных различиях в механизмах излучения в этих диапазонах волн. Высокие эффективные температуры $T_{эфф}$ радиоизлучения указывают на когерентный механизм; существенно более низкая $T_{эфф}$ в оптико-рентгеновском диапазоне позволяет объяснить излучение на основе некогерентных механизмов³. Подробный анализ некогерентного синхротронного механизма для пульсара в Крабовидной туманности, проведенный⁴ в рамках модели Смита, показал, что наблюдаемый спектр в инфракрасной области, оптическом и рентгеновском диапазоне может быть получен в системе с линейными размерами $L \sim 5 \cdot 10^7 \delta^{1/17}$ см, магнитным полем $H \sim 6 \cdot 10^4 \delta^{1/17}$ э, концентрацией излучающих электронов $N \sim 10^{12} \delta^{-7/17}$ см⁻³ и характерной энергией электронов $\sim 10^8 \delta^{-2/17}$ эв. Здесь все величины выражены через δ — отношение энергии магнитного поля в источнике к энергии излучающих электронов. Этот параметр можно определить ($\delta \sim 10^2 - 10^6$), если предположить, что γ -излучение создается за счет обратного комптон-эффекта в той же системе. Если знать магнитное поле в источнике, можно оценить поле на поверхности нейтронной звезды H_* . Если характер магнитного поля не слишком отличается от дипольного, то $H_* \sim 2 \cdot 10^{11}$ э, что согласуется с оценкой поля, получаемой для нейтронной звезды из соображений сохранения магнитного потока во время сжатия звезды.

В настоящее время конкретный механизм радиоизлучения остается неясным. Однако сравнительная близость положения радиоисточника в магнитосфере пульсара в Крабовидной туманности к оптическому источнику позволяет заключить, что величина магнитного поля, а вероятно, и концентрация частиц в источниках — одного порядка. Следовательно, генерация радиоизлучения в пульсарах происходит в условиях, существенно отличающихся от солнечных: в короне Солнца обычно частота $\omega \gg \omega_L, \omega_H$ (ω_L — собственная частота плазмы, ω_H — электронная гирочастота), тогда как для радиоизлучения пульсара $\omega \ll \omega_L, \omega_H$. Возможно, что излучение на столь низких частотах — это или синхротронное излучение ионов, или излучение синхротронного типа при ускоренном движении заряженных частиц вдоль изогнутых силовых линий магнитного поля (curvature radiation)⁵. Существенное значение здесь приобретает проблема выхода радиоизлучения из плотной плазмы источника в межзвездную среду.

Содержание доклада будет опубликовано в журнале «Вестник АН СССР».

ЛИТЕРАТУРА

1. F. G. Smith, Mon. Not. RAS **149**, 1 (1970).
2. V. V. Zheleznyakov, Astrophys. Space Sci. **13**, 74 (1971).
3. V. L. Ginzburg, V. V. Zheleznyakov, Comm. Astrophys. and Space Phys. **11**, 167, 197 (1970).
4. V. V. Zheleznyakov, V. E. Shaposhnikov, Astrophys. and Space Sci. **18**, 406 (1972).
5. F. Pacini, M. J. Rees, Nature **226**, 622 (1970).