

УДК 523.164

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РТ-22 НА ВОЛНЕ 8 ММ

*Л. Д. Бахрах, М. И. Григорьева, В. И. Загатин, П. Д. Калачев,  
А. Д. Кузьмин, Л. И. Матвеевко, Г. С. Мисежников, В. А. Никитин,  
В. А. Пузанов, А. Е. Соломонсвич, Р. Л. Сороченко, В. Б. Штейншлейгер*

Благодаря применению квантового парамагнитного усилителя и многозеркальной схемы антенны эффективность 22-метрового радиотелескопа РТ-22 ФИАН на волне 8 мм повышена более чем на порядок. Это позволяет существенно расширить программу радиоастрономических исследований на этой волне, в том числе впервые в миллиметровом диапазоне провести наблюдения галактической радиолинии.

Миллиметровый диапазон радиоволн представляет значительный интерес для исследования небесных тел солнечной системы и для решения большого числа задач галактической и внегалактической астрономии. Интерес к этому диапазону особенно возрос после открытия квазизвездных объектов и рекомбинационных радиолиний галактического излучения.

Построенный в 1959 г. 22-метровый радиотелескоп Физического института им. П. Н. Лебедева является крупнейшим инструментом, способным работать в диапазоне 8 мм [1]. Однако использование РТ-22 на этой волне существенно ограничивалось недостаточной чувствительностью радиоастрономической аппаратуры в миллиметровом диапазоне. По этой причине при супергетеродинном приемнике с кристаллическим смесителем на входе можно было наблюдать только Солнце, Луну, планеты солнечной системы (кроме Урана, Нептуна и Плутона) и лишь некоторые наиболее интенсивные источники космического радиоизлучения.

Создание высокочувствительных квантовых парамагнитных усилителей (КПУ) дало возможность резко повысить чувствительность радиотелескопа РТ-22 в непрерывном спектре и особенно при спектральных исследованиях. В первую очередь представляли интерес наблюдения рекомбинационной радиолинии водорода  $H56_{\alpha}$  ( $\nu_0 = 36466,32 \text{ Мгц}$ ), а также возможность поляризационных исследований источников космического радиоизлучения.

Программа повышения эффективности радиотелескопа включала в себя а) разработку высокочувствительного радиометра с квантовым парамагнитным усилителем (КПУ) [2], б) перевод РТ-22 на каскадную систему облучения, сочетающую низкую шумовую температуру антенны с удобством эксплуатации КПУ.

Общая схема радиотелескопа РТ-22 на волне 8 мм, принятая в соответствии с вышеизложенной программой, изображена на рис. 1. Перенос фокуса радиотелескопа к вершине 22-метрового параболоида осуществляется гиперболическим зеркалом диаметром 1 м. Облучение гиперболы производится тремя облучателями, один из которых расположен строго по оси зеркала, а два других симметрично смещены в горизонтальной плоскости.

Переключением боковых облучателей осуществляется качание луча радиотелескопа с разномом между направлениями приема 23'.

Применение диаграммной модуляции при симметричных облучателях позволяет существенно снизить влияние флуктуаций излучения атмосферы, особенно сильных в миллиметровом диапазоне волн, а также повысить информативность и надежность проводимых наблюдений. Последнее обстоятельство вытекает из возможности наблюдений исследуемого источника то одним, то другим направлением приема. Такой метод по сравнению с методом наведения — отведения дает выигрыш в 2 раза в отношении сигнала к шуму. Кроме того, он позволяет исключить некоторые паразитные эффекты, особенно при спектральных измерениях [3].

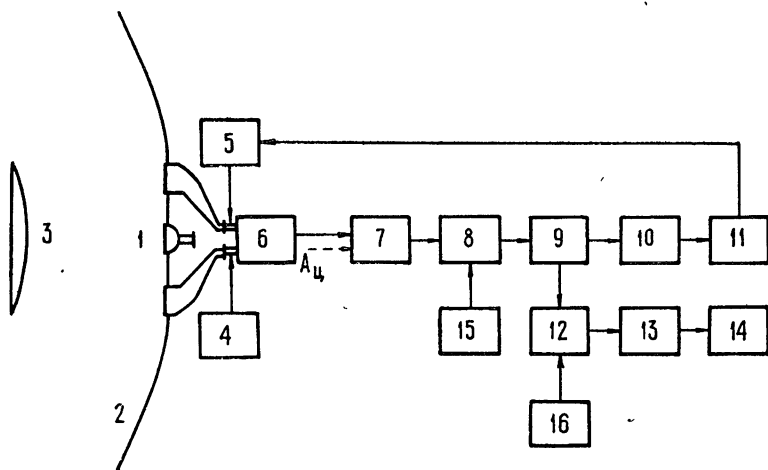


Рис. 1. Схема радиотелескопа РТ-22 на  $\lambda=8$  мм:

1—центр излучения, 2—параболическое зеркало, 3—гиперболическое зеркало, 4—генератор калибровочного шума, 5—генератор компенсирующего шума, 6—переключатель, 7—квантовый парамагнитный усилитель бегущей волны (КПУ БВ), 8—смеситель I, 9—усилитель перестройки частоты I (УПЧ I), 10—канал  $\Delta f_1$ , 11—регистрирующий прибор непрерывного спектра, 12—смеситель II, 13—канал  $\Delta f_2$ , 14—регистрирующий прибор спектрального анализа, 15—гетеродин I, 16—гетеродин II.

Центральный облучатель используется для поляризационных измерений, при которых требуется максимальная осевая симметрия диаграммы направленности. В зависимости от характера исследований центральный или боковые облучатели подключаются к входу радиометра, установленному так, чтобы входные волноводные соединения имели наименьшую длину.

Боковые облучатели представляют собой рупорно-параболические антенны с размером раскрыва 200 мм. Вершина конуса рупорной части находится непосредственно у выходного фланца волновода, что обеспечивает минимальные потери и минимальную шумовую температуру облучателей.

Центральный облучатель является короткофокусной ( $F/D = 0,2$ ; где  $D = 200$  мм — диаметр зеркала) двухзеркальной антенной с коническим облучателем.

Настройка многозеркальной системы антенны радиотелескопа осуществлялась радиоастрономическим способом по внеземным источникам радиоизлучения. Измерение электрических параметров антенны производилось по Юпитеру, яркостная температура которого на волне 8 мм была принята равной 140°К. (Более подробные данные по антенной системе содержатся в работе [4].)

В непосредственной близости к выходным фланцам рупоров расположена входная часть радиометра. Его упрощенная блок-схема приведена на рис. 1.

Переключение рупоров осуществляется ферритовым переключателем с малыми потерями ( $\sim 0,35 \text{ дб}$ ). На входе радиометра включен квантовый парамагнитный усилитель бегущей волны (КПУ БВ). Шумовая температура усилителя  $T_{\text{ш КПУ}} = 40^\circ\text{К}$ . Коэффициент усиления КПУ БВ составляет 25 дб в полосе, превышающей 20 Мгц. Усилитель может перестраиваться в полосе  $\sim 10^3 \text{ Мгц}$ .

Радиометр имеет два канала приема: широкополосный с полосой  $\Delta f_1 = 20 \text{ Мгц}$  для измерений в непрерывном спектре и узкополосный с полосой  $\Delta f_2 = 1 \text{ Мгц}$  для спектрального анализа. В радиометре осуществлен нулевой метод по каналу  $\Delta f_1$ . Компенсирующий шумовой сигнал вводится в тракт одного из боковых облучателей через направленный ответвитель. В тракт другого бокового облучателя через аналогичный направленный ответвитель вводится калибровочный сигнал, равный  $4,6^\circ\text{К}$ . Спектральный анализ производится перестройкой частоты анализатора  $\Delta f_2$  в полосе  $\Delta f_1$  путем соответствующего изменения частоты второго гетеродина. Частота первого гетеродина стабилизирована с помощью кварца, частота второго гетеродина при его перестройке контролируется сеткой опорных кварцованных частот.

Поляризационные измерения (измерение линейной и круговой поляризации) обеспечиваются поляризационным модулятором фарадеевского типа и четвертьволновыми пластинками. При этом центральный облучатель вместе с вышеуказанными поляризационными элементами подключается непосредственно на вход КПУ (более подробные данные о радиометре содержатся в [5]).

Основные параметры радиотелескопа на волне 8 мм, достигнутые после осуществления программы по повышению его эффективности, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры радиотелескопа на волне 8 мм

1	Шумовая температура всей системы (ясная погода, зенит) ( $^\circ\text{К}$ )	$T_c = 190 \div 250$
2	Шумовая температура антенны, включая излучение атмосферы и фона* ( $^\circ\text{К}$ )	
	Боковые облучатели	$T_{\text{а б}} = 43$
	Центральный облучатель	$T_{\text{а ц}} = 55$
3	Шумовая температура радиометра ( $^\circ\text{К}$ )	$T_{\text{рад}} = 150 \div 210$
4	Флуктуационная чувствительность ( $^\circ\text{К}$ )	
	В полосе 20 Мгц ( $\tau=1 \text{ сек}$ )	$\delta T_1 = 0,08 \div 0,1$
	В полосе 1 Мгц ( $\tau=1 \text{ сек}$ )	$\delta T_2 = 0,3 \div 0,4$
5	Эффективная площадь антенны ( $\text{м}^2$ )	
	Боковые облучатели	$A_{\text{эфф б}} = 80 \mp 10$
	Центральный облучатель	$A_{\text{эфф ц}} = 70 \mp 10$
6	Ширина диаграммы направленности (мин дуги)	
	Боковые облучатели	$\varphi_{\text{б}} = 1,8 \times 1,9$
	Центральный облучатель	$\varphi_{\text{ц}} = 1,6 \times 1,6$
7	Чувствительность радиотелескопа	
	По потоку ( $\text{вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{гц}^{-1}$ )	
	В полосе 20 Мгц ( $\tau=1 \text{ сек}$ )	$\delta S = 3,3 \cdot 10^{-26}$

\* Принимая шумы атмосферы и фона, согласно [8], равными  $28\text{--}30^\circ\text{К}$ , получаем шумовую температуру антенны равной  $13^\circ\text{К}$  для боковых облучателей и  $25^\circ\text{К}$  для центрального облучателя.

Благодаря применению диаграммной модуляции и работы радиометра в режиме  $T_{A1} = T_{A2}$  стабильность нулевой линии оказывается достаточно высокой. Симметричность боковых облучателей обеспечила уменьшение влияния излучения фона более чем на порядок. В результате этого при изменении угла места радиотелескопа нулевая линия смещалась лишь на десятые доли градуса.

На рис. 2 изображена запись прохождения Юпитера через диаграмму направленности радиотелескопа. Вертикальные линии, определяющие масштаб записи по угловой координате, получены с помощью оптического гида. Расстояние между метками равно  $32''$ . Для сравнения на этом же рисунке приведена запись Юпитера, полученная в 1964 г. [6] до повышения эффективности РТ-22.

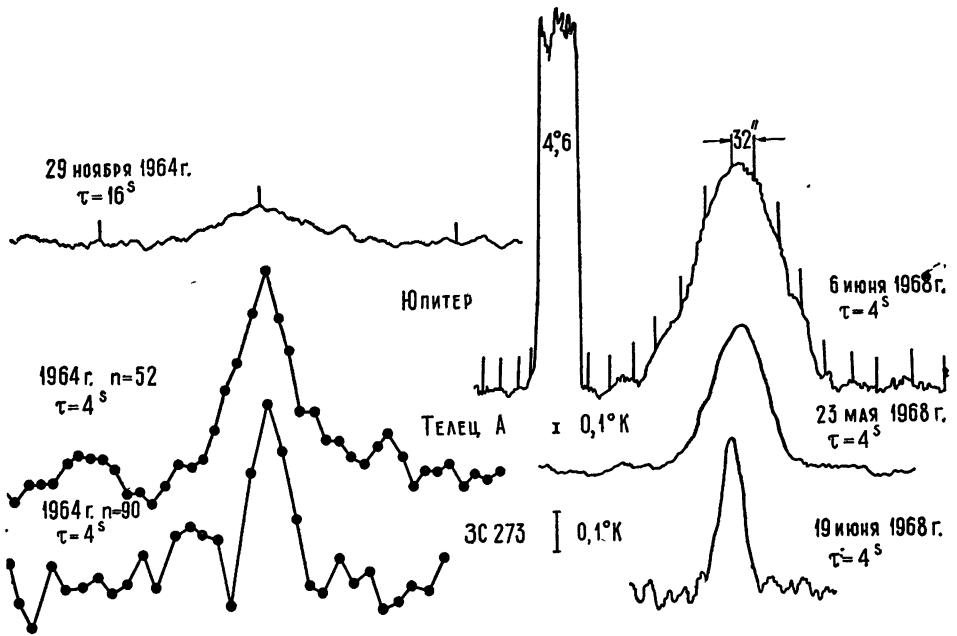


Рис. 2. Записи источников радиоизлучения на  $\lambda = 8$  мм. В записях 1964 г.  $n$ —число усреднений.

На рис. 2 также для сравнения с аналогичными измерениями в 1964 г. [6, 7] приведены образцы записей прохождения через диаграмму направленности Крабовидной туманности и радиисточника ЗС 273.

Приведенные примеры указывают на значительное повышение чувствительности радиотелескопа по потоку (более чем в 10 раз). В результате этого излучения слабых источников, которые раньше можно было выделить только усреднением большого количества записей, сейчас уверенно регистрируются при одиночном прохождении. Еще больше (примерно в 25 раз) понизилась спектральная плотность собственных шумов радиотелескопа. При этом, благодаря сделанным изменениям в схеме (нулевой метод, диаграммная модуляция и др.), реально достигнутая чувствительность приблизилась к теоретически возможной при данной шумовой температуре системы.

Кроме того, оказалось возможным впервые в миллиметровом диапазоне волн наблюдать излучение галактической радиолнии. На рис. 3 приведены образцы спектрограммы линии H56  $\alpha$  излучения галак-

тического водорода, полученные в направлении центра туманности Омега. Как видно из рис. 3, линия, имеющая антенную температуру около  $0,25^{\circ}\text{K}$ , уверенно регистрируется с помощью одной пары спектрограмм.

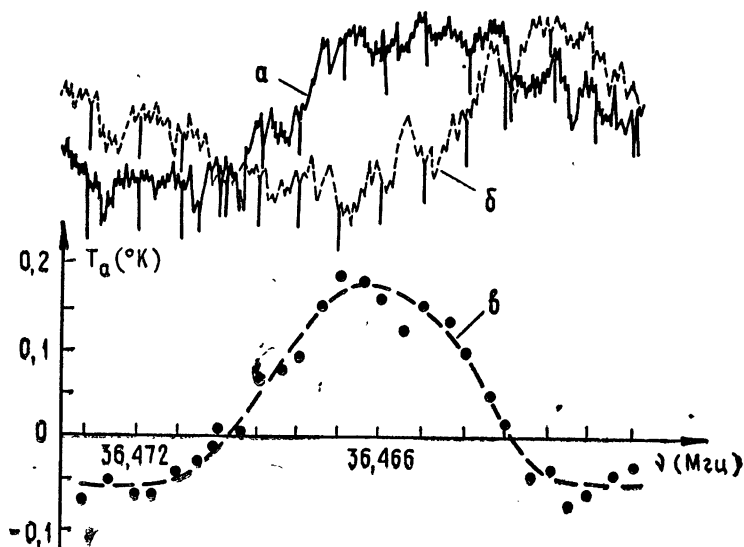


Рис. 3. Рекомбинационная радиолния водорода  $\text{H } 56_{\alpha}$  в центральной части туманности Омега.

- а) Оригинальная спектрограмма при приеме излучения через левый облучатель.  
 б) Оригинальная спектрограмма при приеме излучения через правый облучатель. Вертикальные линии—метки частоты через  $1 \text{ Mгц}$ .  
 в) Разностная спектрограмма записей а) и б). Отрицательная температура по краям от линии является следствием того, что в 8-миллиметровом диапазоне энергия в линии  $\text{H } 56_{\alpha}$  составляет заметную часть от энергии непрерывного спектра источника, принимаемой в полосе  $20 \text{ Mгц}$ .

Таким образом, в результате повышения эффективности РТ-22 на волне  $8 \text{ мм}$  появилась возможность за счет углового разрешения менее  $2'$  существенно расширить программы радиоастрономических исследований и, что особенно важно, проводить спектральные исследования большого количества источников радиоизлучения.

В проведении работы принимали участие Н. П. Абросимова, Б. А. Алексеев, Э. В. Бородзич, Ю. Н. Ветухновская, Г. И. Виноградова, Г. Г. Голышевский, В. М. Гуднов, В. Дмитриев, Т. Н. Зарецкая, Н. Ф. Ильин, В. В. Костенко, А. А. Левин, М. Т. Левченко, Б. Я. Лосовский, Л. М. Нагорных, С. К. Паламарчук, И. И. Пучкова, В. И. Пушкарев, которым авторы приносят глубокую благодарность.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 А. Е. Саломонович, Диссертация, ФИАН, М., 1964.
- 2 В. И. Загатин, Г. С. Мисежников, В. Б. Штейншлейгер, Радиотехника и электроника, 12, № 3, 539 (1967).
- 3 В. М. Гуднов, Р. Л. Сороченко, Астрон. ж., 44, № 5, 1001 (1967).
- 4 Л. Д. Бахрах, М. И. Григорьева, А. Д. Кузьмин, Л. И. Матвеевко, Изв. высш. уч. зав. — Радиопизика, 12, № 8, 1109 (1969).
- 5 В. И. Загатин, Г. С. Мисежников, В. А. Пузанов, А. Е. Саломонович, Р. Л. Сороченко, В. Б. Штейншлейгер, ПТЭ, № 5, 118 (1968).
- 6 А. Баррет, Б. Г. Кутуза, Л. И. Матвеевко, А. Е. Саломонович, Астрон. ж., 42, № 3, 527 (1965).
- 7 В. И. Костенко, Л. И. Матвеевко, Астрон. ж., 43, № 2, 280 (1966).
- 8 А. Г. Кисляков, К. С. Станкевич, Изв. высш. уч. зав. — Радиопизика, 10, 9—10, 1244 (1966).

IMPROVEMENT OF THE OPERATION EFFICIENCY OF THE RADIOTELESCOPE RT-22 AT THE WAVELENGTH 8 mm

*L. D. Bakhrakh, M. I. Grigor'eva, M. I. Zagatin, P. D. Kalachev, A. D. Kuz'min, L. I. Matveenko, G. S. Mizezhnikov, V. A. Nikitin, V. A. Puzanov, A. E. Salomonovich, R. L. Sorochenko, V. B. Shleinsleiger*

The efficiency of FIAN 22 m radiotelescope RT-22 at the wavelength 8 mm is improved by the order using the quantum paramagnetic amplifier and Cassegrain antenna. Due to this it is possible to extend considerably the observational program at this wavelength and to carry out for the first time the observations of the galactic radio line in millimeter range.

---