

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 217

РАДИОТЕЛЕСКОП ДЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ГАЛАКТИЧЕСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ 30 СМ

В.И.Абрамов
В.В.Беликович
И.Ф.Белов
Е.Н.Виняйкин
А.Г.Володин
И.Л.Крайнов
А.Д.Строков
Б.С.Формозов

Горький 1986

Абрамов В.И., Беликович В.В., Белов И.Ф., Виняйкин Е.Н.,
Володин А.Г., Крайнов И.Л., Строков А.Д., Формозов Б.С.

РАДИОТЕЛЕСКОП ДЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ГАЛАКТИЧЕСКОГО
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ 30 СМ. Горький, Препринт № 217 /
НИРФИ, 1986.

УДК 621.396.628:523.164

Приведено описание радиотелескопа FT-10, предназначенного для поляризационных измерений галактического радиоизлучения в диапазоне 30 см. Радиотелескоп позволяет проводить параллельные измерения линейной поляризации и интенсивности радиоизлучения. Даны характеристики радиополяриметра и инструментальной линейной поляризации радиотелескопа в целом. Приведены результаты измерения линейной поляризации областей с координатами $\alpha_{1950} = 3^{\text{h}} 48^{\text{m}}$, $\delta_{1950} = 64^{\circ}$; $\alpha_{1950} = 3^{\text{h}} 22^{\text{m}}$, $\delta_{1950} = 65^{\circ}$ и Полярной области на частоте 910 МГц.

I. ВВЕДЕНИЕ

Поляризационные исследования галактического радиоизлучения являются одним из основных источников информации о межзвёздных магнитных полях, релятивистских электронах и ионизированном газе. Учёт линейной поляризации необходим при точных измерениях спектрального индекса галактического радиоизлучения и его угловых и частотных вариаций на дециметровых и сантиметровых волнах, поскольку степень линейной поляризации достигает в некоторых областях (15 - 20) % /1, 2/. С другой стороны, измерения яркостной температуры линейно поляризованной компоненты галактического радиоизлучения T_{ν}^P ^{+) на достаточно высоких частотах, где фарадеевская деполаризация радиоизлучения пренебрежимо мала, позволяют определить спектральный индекс чисто нетеплового радиоизлучения, поскольку неполяризованная тепловая компонента при этом не даёт вклада в T_{ν}^P .}

К настоящему времени опубликован ряд поляризационных обзоров галактического радиоизлучения на дециметровых волнах /18 - 20, 23/, однако полученные данные довольно противоречивы (см., например, /25/). Поэтому остаются актуальными задачи повышения точности измерений и углового разрешения. Кроме того, желательна расширять частотного диапазона исследований в коротковолновую часть дециметрового диапазона волн.

С целью повышения точности поляризационных измерений галактического радиоизлучения в дециметровом диапазоне волн, проводимых на РАС "Старая Пустынь", в 1985 г. была проведена модернизация радиотелескопа РТ-10 ($D = 10$ м, $F/D = 0,28$). На нём установлены новые сис-

^{+) В настоящей работе, как и в /1, 2, 17, 19, 22, 23/, принято определение яркостной температуры линейно поляризованного излучения, соответствующее полной разности эффективных температур вибраторов, ориентированных параллельно и перпендикулярно направлению преимущественных колебаний электрического вектора в излучении.}

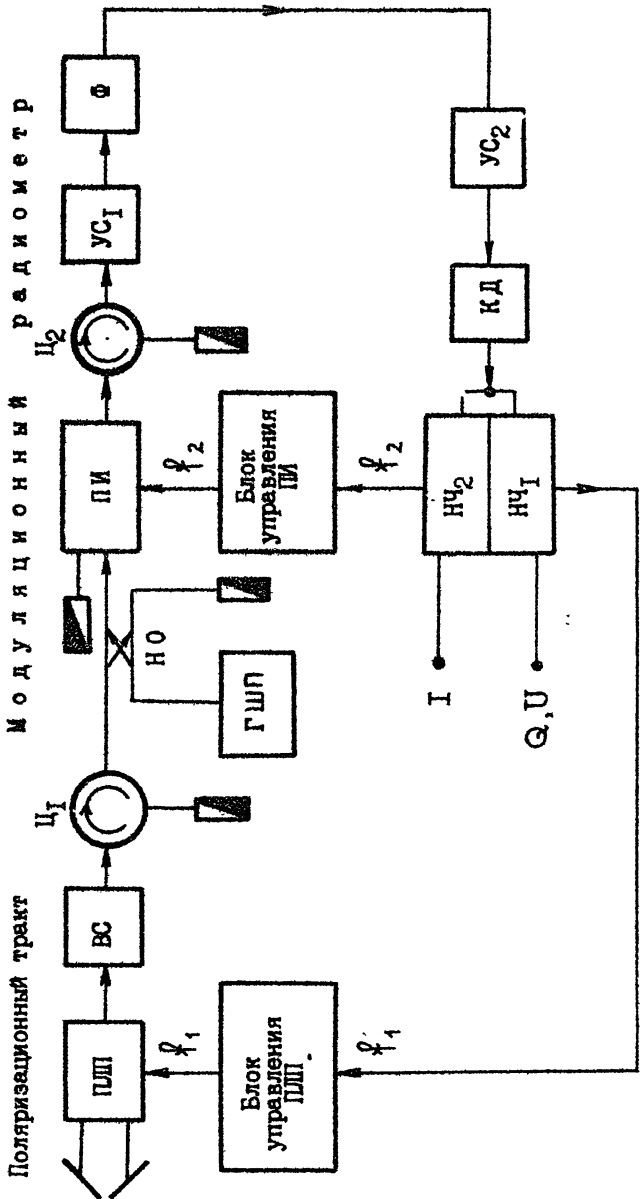
тема облучения зеркала и радиополяриметр сравнения ортогональных линейных компонент на волну 33 см, СВЧ часть и квадратичный детектор которого размещены в отдельном модуле. Модуль находится вблизи фокуса антенны и крепится с помощью четырех тяг. Модуль кроме СВЧ части поляриметра содержит рупорный облучатель и систему его вращения. Последняя включает в себя реверсивный электродвигатель и редуктор, обеспечивающие вращение облучателя со скоростью один оборот за 4,7 минуты, и сельсинную пару, предназначенную для индикации угла поворота облучателя. Предусмотрена возможность смещения модуля вдоль оси антенны и в фокальной плоскости.

Радиотелескоп позволяет проводить измерения в любом из следующих режимов: 1) измерение интенсивности произвольно выбранной линейно поляризованной компоненты излучения, например I_x , 2) измерение интенсивности (параметра Стокса $I = I_x + I_y$) без измерения поляризации, 3) измерение линейной поляризации (параметров Стокса Q, U) без измерения интенсивности, 4) одновременное измерение поляризации и интенсивности.

2. РАДИОПОЛЯРИМЕТР

Радиополяриметр выполнен по обычной схеме поляриметра сравнения ортогональных линейных компонент и представляет собой модуляционный радиометр [9], ко входу которого подключен поляризационный тракт, обеспечивающий выделение и переключение ортогональных линейных компонент. Поляриметр позволяет осуществлять одновременную регистрацию квазиулевым методом суммы и разности линейно поляризованных компонент принимаемого радиоизлучения, что достигается применением двойной амплитудной модуляции. Блок-схема поляриметра приведена на рис. 1.

Сигнал с выхода $\rho - i - n$ переключателя линейных поляризаций ПЛП, управляемого меандром с частотой $f_1 = 500$ Гц, через вращающееся сочленение ВС, циркулятор C_1 и направленный ответвитель НО поступает на $\rho - i - n$ переключатель интенсивности ПИ, управляемый меандром с частотой $f_2 = 2f_1$. Переключатель интенсивности осуществляет коммутацию входа приемника с антенны на согласованную нагрузку. Приемник выполнен по схеме прямого усиления с усилением около 50 дБ. Циркуляторы C_1 и C_2 обеспечивают развязку между ПЛП и первым усилителем $УС_1$ около 50 дБ, являющуюся необходимой для нормальной работы данного поляриметра. Гребенчатый фильтр Φ может перестраивать-



Р и с. 1. Блок-схема поляриметра

ся в диапазоне $(0,9 + 1)$ ГГц и формирует частотную характеристику поляриметра с шириной около 20 МГц. В результате поиска свободного от помех участка диапазона была выбрана рабочая частота 910 МГц при полосе пропускания на уровне половинной мощности 19 МГц.

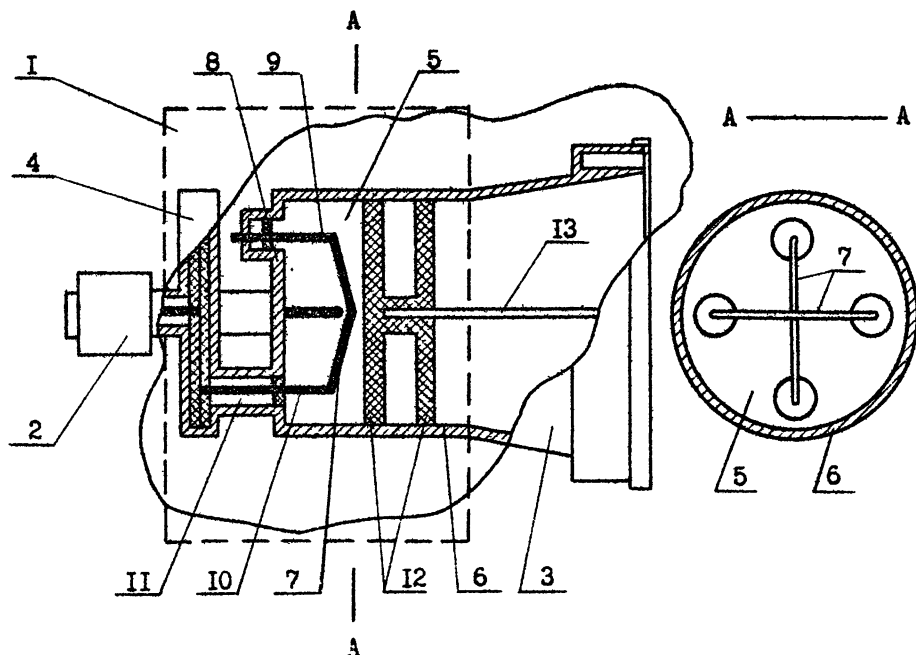
На выходе квадратичного детектора КД сигнал разделяется на два НЧ канала, в одном из которых на частоте f_1 выделяется линейная поляризация принимаемого радиоизлучения (режим 3 и 4), а в другом, на частоте f_2 - его полная интенсивность (режим 2 и 4). При подаче на $\rho-i-\pi$ переключатель линейных поляризаций постоянного напряжения в канале интенсивности на частоте f_2 регистрируется интенсивность компоненты, выделяемой поляризационным трактом (режим I). Опорные напряжения на частотах f_1 и f_2 синхронизированы одним и тем же задающим генератором, расположенным в блоке НЧ₂. Блоки НЧ и блоки управления переключателями находятся в кабине радиотелескопа. При подаче на ПИ постоянного напряжения, подключающего к приёмнику антенну (режим 3), происходит удвоение отклика в канале поляризации, соответствующее улучшению чувствительности вдвое. В поляриметре предусмотрена возможность выравнивания сигналов на входах переключателя ПИ путем введения в тракт через НО сигнала "подшумливания" от ПШП. Шумовая температура поляриметра, приведенная к его входу, составляет $T_{\text{ш}} \approx 600$ К.

3. ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ТРАКТ ПОЛЯРИМЕТРА

Поляризационный тракт поляриметра включает в себя переключатель линейных поляризаций I, высокочастотное коаксиальное вращающее соединение 2 и рупорный облучатель 3 с четвертьволновой канавкой (рис.2).

Переключатель линейных поляризаций I содержит двухканальный $\rho-i-\pi$ переключатель 4 и ортогональный коаксиально-волноводный переход 5. Ортогональный переход представляет собой закороченный отрезок круглого одномодового волновода 6 с двумя взаимно перпендикулярными вибраторами 7, расположенными примерно в одной плоскости на расстоянии около $\lambda/4$ от закорачивающей стенки 8 волновода. Каждый вибратор включен между $\lambda/4$ - короткозамкнутым шлейфом 9, являющимся симметрирующим устройством вибратора, и согласующим двухступенчатым $\lambda/4$ -трансформатором IO-II, соединённым с одним из выходов переключателя 4.

Уменьшение влияния емкостной связи между вибраторами на "чисто-



Р и с. 2

ту" линейных поляризаций достигалось за счет симметрии нагрузок на концах вибратора кроссполяризованной компоненты. При этом распределение "паразитного" тока по вибратору, обусловленного емкостной связью, носит антисимметричный характер и приводит к возбуждению волн только высших типов и прежде всего волны E_{01} . Симметрия нагрузок обеспечивалась выбором длин закороченных отрезков линии 9 и 10, II в соответствии с работой /3/. Подавление же волны E_{01} достигалось как выбором размеров волновода 6 (~ 9 дБ), так и за счет сильного (20 дБ) её затухания в тонком стеклянном стержне 13 с поглощающим покрытием, установленным вдоль оси волновода /4/.

Необходимая широкополосность согласования волноводно-коаксиального перехода была реализована с помощью трансформатора из двух диэлектрических дисков 12, расположенных в волноводе.

Облучатель выполнен в виде открытого конца синфазного конического волновода (диаметром 271 мм) с дроссельной канавкой глубиной

81 мм и шириной 20 мм.

Двухканальный переключатель представляет собой тройниковый делитель мощности с параллельным включением р-і-п диодов (2A517A) в симметричную полосковую линию в центре двух попуолновух отрезков с высоким (100 Ом) волновым сопротивлением /5/. Для увеличения развязки в схеме подключения диодов реализован последовательный резонанс. Требуемая полоса согласования переключателя с 50-Омной линией достигалась с помощью попуолнового 40-Омного разомкнутого шлейфа, включенного на входе. Конструкция переключателя обеспечивает соосное соединение рупора 3 и вращающего сочленения 2. КСВН переключателя на краях полосы частот 890 + 1020 МГц не превышает 1,15. Развязка каналов - 34 дБ в центре и 31 дБ на краях диапазона, потери ≈ 0,15 дБ.

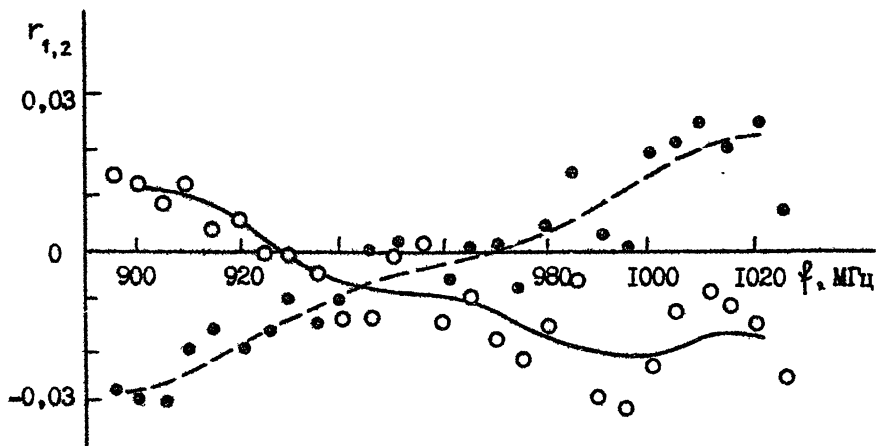
Основные характеристики тракта приведены на рис. 3 - 5.

На рис. 3 показаны частотные зависимости коэффициентов эллиптичности $\gamma_{1,2}$ и отклонения азимутальных углов $\Delta\chi$ поляризационных эллипсов от 0 или 90°. Измерение параметров эллипсов поляризации излучения тракта на оси облучателя проводилось амплитазометрическим методом с помощью вспомогательного линейно поляризованного излучателя. Фазовые характеристики каналов р-і-п переключателя подбирались в процессе настройки, исходя из условия равенства коэффициентов эллиптичности поляризационных эллипсов на центральной частоте 930 МГц. В полосе частот 890 + 1020 МГц максимальное значение разности коэффициентов эллиптичности не превышает 4%. При этом расчетные значения коэффициентов трансформации в поляриметре круговой поляризации в линейную (т.е. элементы M_{24}^n, M_{34}^n матрицы Муллера поляриметра /6, 7/) составляют не более $M_{24}^n = M_{34}^n = r_2 - r_1 \leq 4\%$, а связанные с ними составляющие инструментальной линейной поляризации радиотелескопа менее 0,1%.

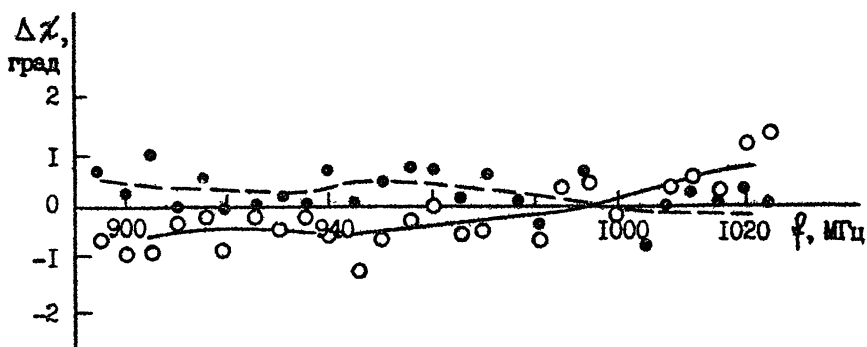
На рис. 4 приведены частотные зависимости ширины горизонтальных сечений диаграммы направленности (ДН) облучателя на разных уровнях (-3, -10, -15, -20 дБ) для позиционного угла облучателя $\chi_0 = 0^\circ$. Облучатель обладает осесимметричной ДН, ширина которой по уровню -10 дБ $\Delta\theta_{-10} = 120^\circ$. Уровень облучения края зеркала с относительным фокусным расстоянием $F/D = 0,28$ составляет -(15 + 17) дБ. Фазовый центр облучателя находится перед его раскрывом на расстоянии 14 мм.

Рис. 5 иллюстрирует эффективность подавления "паразитной" волны E_{01} с помощью поглощающего стержня, помещенного вдоль оси облучателя. При отсутствии стержня наклон фазовой ДН на её оси ($d\varphi^E/d\theta(\alpha)$)_{обл}

Частотные зависимости



а)



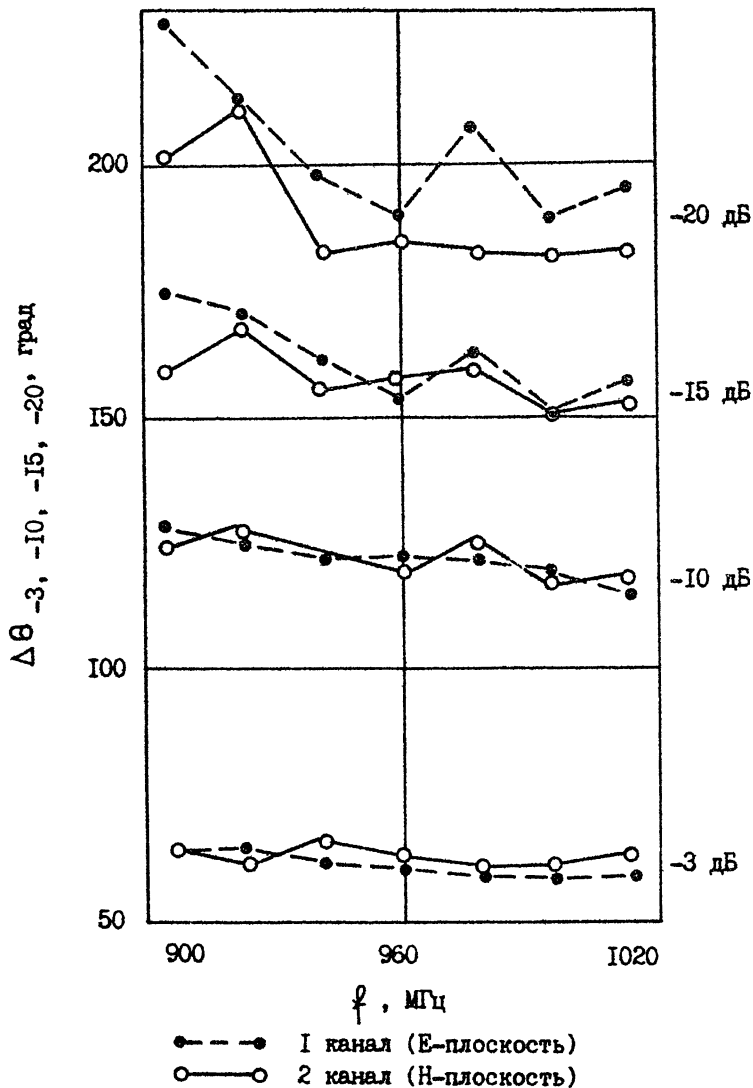
б)

а) коэффициентов эллиптичности поляризационных эллипсов,
 б) азимутальных углов поляризационных эллипсов.

1 канал ●---● 2 канал ○—○

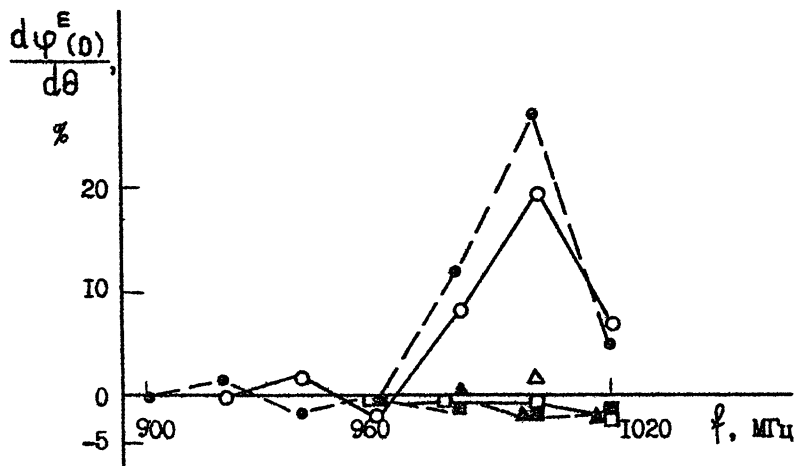
Р и с. 3

Частотная зависимость ширины горизонтальных сечений
ДН облучателя на разных уровнях, при $\chi_0 = 0^\circ$

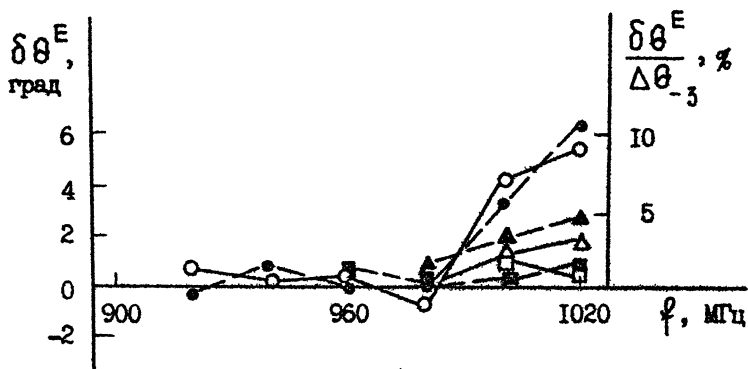


Р и с . 4

Частотные зависимости наклона фазовой ДН $d\varphi^E/d\theta$ (а) и смещения амплитудной ДН $\delta\theta^E/\Delta\theta_{-3}$ (б) облучателя



а)



б)

Без поглощающего стержня
 стержень $\phi 2$, $L = 200$, $R = 2$ кОм
 стержень $\phi 4$, $L = 300$, $R = 2$ кОм

I канал	2 канал
● --- ●	○ --- ○
▲ --- ▲	△ --- △
■ --- ■	□ --- □

Р и с. 5

и нормированное смещение максимума диаграммы ($\delta\theta^E/\Delta\theta_{-3}$) обл облучателя в Е-плоскости, обусловленные соответственно синфазной (С) (по отношению к волне H_{II}) и квадратурной (S) частями волны E_{01} достигают заметных величин в области частот $980 + 1020$ МГц, где волна E_{01} близка к закритической. Это приводит к дополнительным составляющим $M_{2I}^C, M_{3I}^C, M_{2I}^S, M_{3I}^S$ инструментальной линейной поляризации радиотелескопа, причем главное горизонтальное сечение синфазных составляющих имеет форму производной от ДН по интенсивности M_{II} , а квадратурных - производной от инструментальной круговой поляризации антенны $M_{AI}/8$. Для "квазискалярного" облучателя с $\Delta\theta_{-10} = 120^\circ$ и параболоида вращения с $F/D = 0,4 + 0,28$ величины максимумов $M_{2I}^C, M_{3I}^C, M_{2I}^S, M_{3I}^S$ можно оценить по формулам

$$M_{3I}^C = \sqrt{2} M_{2I}^C = (0,3 + 0,4) \left(\frac{d\varphi^E}{d\theta}(0) \right)_{\text{обл}},$$

$$M_{3I}^S = \sqrt{2} M_{2I}^S = (2,0 + 2,5) \left(\frac{\delta\theta^{R,L}}{\Delta\theta_{-3}} \right)_{\text{ант}} \left(\frac{\delta\theta^E}{\Delta\theta_{-3}} \right)_{\text{обл}},$$

где $(\delta\theta^{R,L}/\Delta\theta_{-3})_{\text{ант}}$ обусловленное наклоном оси облучателя (относительно оси параболоида вращения) нормированное смещение круговых ДН антенны.

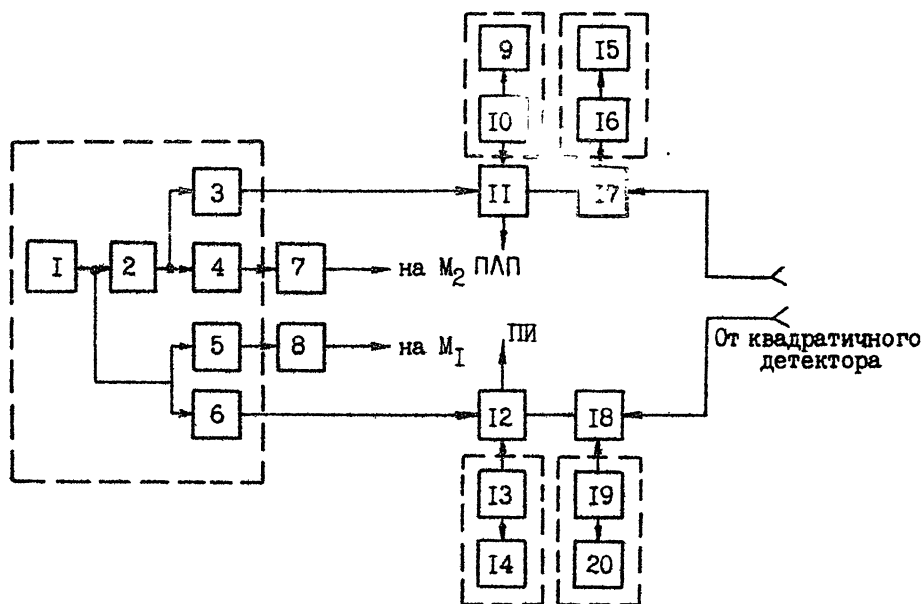
Как видно из рис. 5, использование поглощающего стержня ($\phi = 4$ мм, длина 300 мм, сопротивление постоянному току 2 кОм) позволило снизить уровень волны E_{01} более, чем на 20 дБ (при этом затухание волны H_{II} не более 0,05 дБ) без дополнительного увеличения длины однодогового отрезка волновода. В результате в рабочем диапазоне частот 890 - 970 МГц составляющие инструментальной поляризации не превышают следующих величин: $M_{3I}^S \leq 0,1\%$, $M_{3I}^C \leq 0,2\%$, а в диапазоне 970 + 1020 МГц максимальное значение M_{3I}^C не более 0,5%.

КСВН тракта в полосе частот 890 - 1020 МГц не превышает 1,26, прямые потери 0,35 дБ, разность потерь каналов 3%.

4. НИЗКОЧАСТОТНАЯ ЧАСТЬ ПОЛЯРИМЕТРА

Блок-схема НЧ части поляриметра приведена на рис. 6, где 1 - генератор опорного напряжения; 2 - делитель частоты на 2; 3 и 6 - опт-

роны; 4 и 5 компараторы; 7 и 8 - формирователи (усилители тока), II и I2 - синхронные детекторы соответственно каналов интенсивности и поляризации; I0 и I3 - кольцевые счетчики на 4 шага; 9 и I4 - индикация постоянной времени интегрирования; I6 и I9 - кольцевые счетчики на 6 шагов; I5 и 20 - индикаторы коэффициента усиления; I7 и I8 - предварительные усилители низкой частоты (ПУНЧ) соответственно каналов интенсивности и поляризации. Пунктиром на рис. 6 обведены элементы $НЧ_1$ и $НЧ_2$, выполненные в виде отдельных съемных печатных плат, что повышает ремонтпригодность устройства в целом. Применение современных цифровых интегральных микросхем и многоканальных аналоговых ключей с цифровым управлением позволило упростить и повысить надежность переключений коэффициента усиления и постоянной времени.

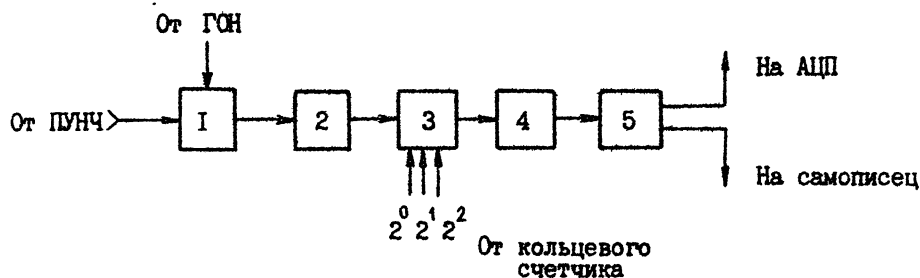


Р и с . 6

Ступенчатые аттенуаторы /I2/, находящиеся в ПУНЧ I7 и I8, выполнены на основе многоканальных аналоговых ключей с цифровым управлением. Управление величиной коэффициента усиления осуществляется в дво-

ичном коде, формирующемся в кольцевых счетчиках I6 и I9, которые имеют параллельный выход на светодиодную индикацию.

Синхронные детекторы II и I2 выполнены на основе 4-канального аналогового ключа с цифровым управлением, что является развитием принципа широкодиапазонного мультиплексирования /I3/ на новой элементной базе (рис. 7). На рис. 7 I - синхронный детектор на базе 4-канального аналогового ключа с цифровым управлением, 2 - дифференциальный усилитель, 3 - интегрирующая цепочка со сменной величиной τ , 4 - повторитель, 5 - суммирующий усилитель. Смена значений постоянной интегрирования осуществляется аналогично смене значений коэффициента усиления, т.е. с помощью кольцевых счетчиков, формирующих двоичный код.



Р и с. 7

Формирователь 7 и 8 (рис. 6) выполнен по принципу управляемого напряжением двуполярного источника тока с дифференциальным выходом /I3, I4/, что даёт возможность использования его с произвольной схемой модулятора как в режиме переключения, так и в режиме пропуска.

Отметим, что применение оптронов 3 и 6 (рис. 6) обеспечило гальваническую развязку между генератором опорного сигнала I (рис. 6) и синхронными детекторами II и I2, повысившую помехозащищенность НЧ блоков и снизившую величины паразитных сигналов.

В блоках НЧ предусмотрены: выход сигнала для регистрации на самописце КСП-4 и выход на АЦП; установка коэффициента усиления со значениями I; 3; 30; 100; 300, умножение каждого из этих значений на 50 и плавная регулировка усиления; установка величин постоянной времени $\tau = 0,25; 1; 4; 16$ с; смещение нулевого уровня на выходе самописца в пределах ± 30 мВ, для АЦП ± 3 В; изменение знака модулирующего напряжения и подача на переключатели постоянного напряжения.

5. ПАРАМЕТРЫ РАДИОТЕЛЕСКОПА

Измерения ДН антенны и инструментальной линейной поляризации (ИЛП) радиотелескопа (т.е. элементов матрицы Муллера M_{2I} и M_{3I} , описывающих переход в радиотелескопе интенсивности в параметры Стокса Q и U) были выполнены по радиоизлучению Солнца и Кассиопеи-А. Степень линейной поляризации интегрального радиоизлучения этих мощных источников в рассматриваемом частотном диапазоне весьма мала /10, II/ и поэтому они удобны для упомянутых измерений.

Т а б л и ц а I

Ширина диаграммы направленности $(\theta_E)_{0,5}$ $(\theta_H)_{0,5}$	КНД	M_{2IG}	$M_{2I\bar{E}}$	M_{2IP}	M_{3IG}	$M_{3I\bar{E}}$	M_{3IP}	$\frac{I}{2} \Delta\epsilon$	$\delta T_{\text{фл}}$, в единицах яркостной температуры при $\tau = 16$ с
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$2^{\circ}30' \times 2^{\circ}30'$	5610	<0,1%	0,6%	0,25%	<0,2%	<0,2%	0,2%	1,5%	0,04 К

В табл. I приведены значения ширины ДН на уровне 0,5 по мощности (первый столбец), коэффициента направленного действия главного луча антенны (второй столбец), осевых ("G") и внеосевых ("Э" и "П"), составляющих ИЛП /II, 26/ в процентах от интенсивности в максимуме ДН (3 - 8 столбцы)⁺, половины разности потерь $\Delta\epsilon/2$ в каналах переключателя поляризации (девятый столбец) и флуктуационного порога чувствительности в режиме 3 в единицах яркостной температуры для постоянной времени 16 с (десятый столбец), при которой и проводились поляризационные измерения галактического радиоизлучения.

Из табл. I видно, что величины различных составляющих ИЛП до-

⁺ Здесь приняты обозначения работ /II, 26/. В соответствии с /II, 26/ индексом "G" обозначены эффекты, обусловленные вариациями осевого усиления радиотелескопа при изменении поляризации, индексом "Э" - эффекты, связанные с "эллиптичностью" сечения ДН облучателя, индексом "П" - эффекты, обусловленные синфазной частью паразитной моды E_{01} облучателя, приводящей к сканированию ДН радиотелескопа при переключении поляризации.

вольно малы и при используемой методике измерений (см. ниже) их можно не учитывать.

6. МЕТОДИКА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Поляризационные измерения галактического радиоизлучения производились путем сопровождения антенной радиотелескопа отдельных областей небосвода в определенных интервалах часовых углов $/1,2/$. При этом облучатель непрерывно вращался против часовой стрелки, если смотреть в направлении визирования, со скоростью 1 оборот за 4,7 минуты. Для калибровки радиополяриметра использовался ориентированный в вертикальной плоскости вспомогательный полуволновый вибратор с щелевым симметрирующим устройством, установленный у вершины зеркала на расстоянии $\lambda/4$ от его поверхности. Калибровка поляриметра и привязка каналов поляризации и интенсивности проводилась при ориентации поляризационного тракта поляриметра, соответствующей измерению параметра Стокса Q (т.е. один из ортогональных вибраторов находился в вертикальной плоскости). При этом учитывалось, что для параметров Стокса вертикально поляризованного излучения вспомогательного вибратора справедливы соотношения $I = Q$, $U = V = 0$.

В каждом сеансе наблюдений величина калибровочной ступеньки сравнивалась с величиной отклика на радиоизлучение Кассиопеи-А. Калибровочная ступенька была подобрана сравнимой с величинами поляризационных сигналов в исследуемых областях небосвода, так что калибровка производилась при том же значении коэффициента усиления, что и при регистрации линейно поляризованной компоненты галактического радиоизлучения. Яркостная температура последней, усредненная по главному лучу антенны, определялась из соотношения $/I^{+})$

$$T_V^p = \frac{\pi_p}{\pi_{\text{Кас.-А}}} \frac{\alpha \lambda^2 D_{\text{гл}} S_{\text{Кас.-А}}}{4\pi K}, \quad (I)$$

где π_p - величина отклика на линейно поляризованную компоненту галактического радиоизлучения, $\pi_{\text{Кас.-А}}$ - величина отклика на радиоиз-

^{+) В (I) учтено, что средняя по боковым лепесткам яркостная температура линейно поляризованной компоненты галактического радиоизлучения ничтожно мала (из-за разброса позиционных углов в различных участках небосвода), а вклад Земли обуславливает побочный сигнал, исключаемый при обработке данных поляризационных наблюдений.}

лучение Кассиопеи А в канале интенсивности, $\alpha = 1,25$ - коэффициент, учитывающий поправку за постоянную времени радиометра Кс, $\lambda = 0,33$ м - длина волны, $D_{rA} = 5610$ - коэффициент направленного действия главного луча антенны, $S_{Kac.-A}$ (1986.0, 910 МГц) = $2700 \cdot 10^{-26}$ Вт·м⁻² Гц⁻¹ /15, 16/ - плотность потока радиоизлучения Кассиопеи-А на эпоху 1986.0 на частоте 910 МГц, $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹ - постоянная Больцмана.

Величина n_p находится путём определения параметров Стокса в экваториальной системе координат $Q_p^{экр}$, $U_p^{экр}$ из аппроксимации методом наименьших квадратов зависимостей "суммарных" параметров Стокса $Q_{\Sigma} = Q_{поб} + Q_p(q)$, $U_{\Sigma} = U_{поб} + U_p(q)$ ($Q_{поб}$, $U_{поб}$ - параметры Стокса побочного сигнала, предполагавшегося постоянным в процессе сопровождения области, Q_p , U_p - полезного сигнала, q - экваториальный параллактический угол) в виде

$$Q_{\Sigma} = Q_{поб} + Q_p^{экр} \cos 2q + U_p^{экр} \sin 2q, \quad (2)$$

$$U_{\Sigma} = U_{поб} + U_p^{экр} \cos 2q - Q_p^{экр} \sin 2q,$$

где $Q_p^{экр} = n_p \cos 2\chi_{экр}$, $U_p^{экр} = n_p \sin 2\chi_{экр}$, $\chi_{экр}$ - позиционный угол поляризованной компоненты в экваториальной системе координат. Значения Q_{Σ} , U_{Σ} находились по изменениям выходного сигнала Δn в зависимости от угла поворота облучателя из соотношений

$$Q_{\Sigma} = \frac{\Delta n(0^{\circ}) - \Delta n(90^{\circ}) + \Delta n(180^{\circ}) - \Delta n(270^{\circ})}{4}, \quad (3)$$

$$U_{\Sigma} = \frac{\Delta n(45^{\circ}) - \Delta n(135^{\circ}) + \Delta n(225^{\circ}) - \Delta n(315^{\circ})}{4}.$$

Для нахождения величин $Q_p^{экр}$, $U_p^{экр}$ и $Q_{поб}$, $U_{поб}$ методом наименьших квадратов использовались программы, разработанные применительно к мини ЭВМ "Наири К" /17/. Зная $Q_p^{экр}$ и $U_p^{экр}$, легко найти

$n_p = \sqrt{(Q_p^{экр})^2 + (U_p^{экр})^2}$ и $\chi_{экр} = \frac{1}{2} \arctg(U_p^{экр}/Q_p^{экр})$. Подставляя в (1) значения входящих в неё параметров и учитывая, что $n_{Kac.-A} = 29n_{шт}$, где $n_{шт}$ - величина калибровочной ступеньки, и что для калибровочного сигнала $I = Q$, получим соотношение

$$T_B^P(K) = (4,1 \pm 0,2) \frac{n_p}{n_{гшт}}, \quad (4)$$

которое непосредственно связывает яркостную температуру T_B^P с величинами откликов на полезный (n_p) и калибровочный ($n_{гшт}$) сигналы в канале поляризации. Учёт постоянной времени при определении χ экв требует вычитания угла 18° . Проведённые одновременно с нашими измерения полной электронной концентрации в ионосфере поляризационно-фарадеевским методом /17/ позволили оценить величину угла $\psi_{ион}$ поворота плоскости поляризации в ионосфере на частоте 910 МГц. Оказалось, что $\psi_{ион} \lesssim 1^\circ$ и ионосферной поправкой можно пренебречь.

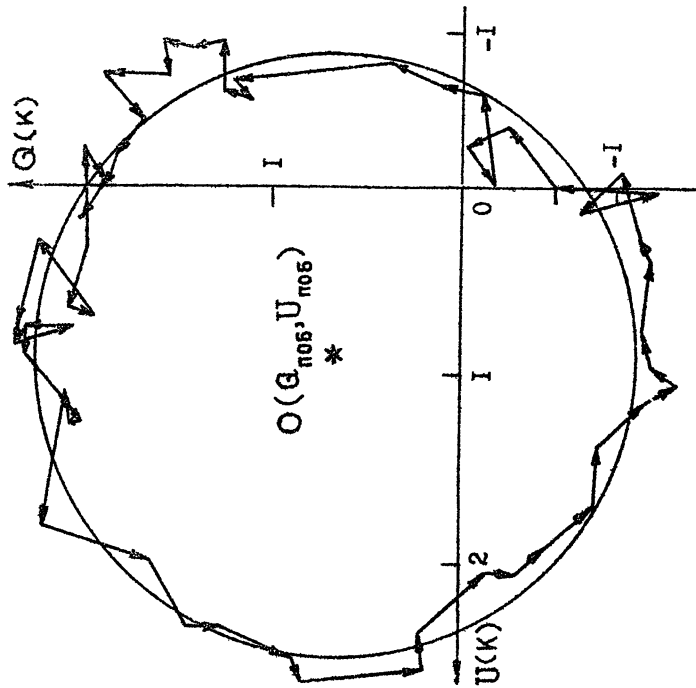
7. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В ноябре и декабре 1985 г. и в январе 1986 г. проведены измерения линейной поляризации трёх областей с координатами: $\alpha_{1950} = 3^h 48^m$, $\delta_{1950} = 64^\circ$ ($l = 141^\circ$, $b = 8^\circ$), области полюса мира ($l = 123^\circ$, $b = 27^\circ$) и $\alpha_{1950} = 3^h 22^m$, $\delta_{1950} = 65^\circ$ ($l = 138^\circ$, $b = 7^\circ$). Первые две области примечательны тем, что часто используются в качестве калибровочных в поляризационных обзорах северного неба (см., например, /18 - 20/), а третья область отличается относительно большим значением меры вращения /21/. Рассмотрим поочередно результаты измерений каждой из областей.

ПО I41 + 8. Проведено 5 сеансов измерений этой области (28 - 29 ноября, 25 - 26 декабря 1985 г., 8, 10 и 12 января 1986 г.). Сопровождение осуществлялось в интервале часовых углов $-2^h 40^m \div 3^h 20^m$.

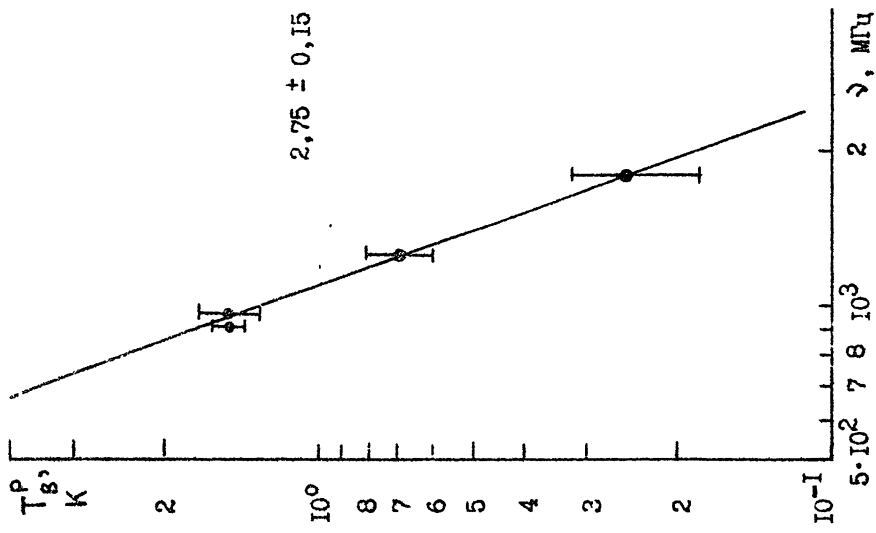
На рис. 8 приведён пример траектории, которую описывает изображающая точка Q_z , U_z на $Q - U$ - плоскости при сопровождении рассматриваемой области, и окружности, проведенной по методу наименьших квадратов (28 - 29 ноября 1985 г.). В табл. 2 дана величина яркостной температуры линейно поляризованной компоненты радиоизлучения ПО I41 + 8 на частоте 910 МГц, полученная усреднением пяти значений, и данные о T_B^P на более высоких частотах из /22/.

Данные табл. 2 приведены на рис. 9. Спектральный индекс поляризованной компоненты радиоизлучения ПО I41 + 8 в диапазоне (910 - 1785) МГц равен $\beta = 2,75 \pm 0,15$, что в пределах ошибок согласуется со значением β (950 - 1785 МГц) = $2,9 \pm 0,1$ /22/. Ввиду отсутствия сколь-нибудь существенной деполаризации, начиная с частоты



Р и с. 8

Траектория изображающей точки на плоскости $G-U$ при сопровождении области $\phi = 1950 = 3^h 48^m$, $\delta = 1950 = 64^\circ$, 28 - 29.II.95 г.



Р и с. 9. Спектр T_g^P области ПО 141 + 8

$\gamma \approx 900$ МГц /1, 2/, указанные значения спектрального индекса характеризуют спектр всей нетепловой (синхротронной) компоненты радиоизлучения данной области.

Т а б л и ц а 2

Частота, МГц	T_B^P, K	$\chi_{\text{экв}}, \text{град}$	Угловое разрешение	Цитированная работа
910	$1,5 \pm 0,1$	37 ± 3	$2^{\circ}30' \times 2^{\circ}30'$	Данная работа
950	$1,5 \pm 0,2$	55 ± 4	$2^{\circ}46' \times 2^{\circ}46'$	/22/
1250	$0,7 \pm 0,1$	56 ± 8	$2^{\circ}15' \times 2^{\circ}11'$	/22/
1785	$0,25 \pm 0,07$	62 ± 15	$1^{\circ}37' \times 1^{\circ}35'$	/22/

Полярная область. Проведено семь 12-часовых сеансов наблюдений поляризации радиоизлучения Полярной области. В результате усреднения по семи значениям получено $T_B^P = (0,25 \pm 0,03) K$, $\chi_{\text{экв}} = 23^{\circ} \pm 10^{\circ}$. Сравнение с величиной яркостной температуры поляризованной компоненты на частоте 1407 МГц ($0,10 \pm 0,04$) К /23/ позволяет определить спектральный индекс β (910 - 1407 МГц) = $2,1 \pm 0,9$. Для уточнения величины β необходимы наблюдения с более высокой точностью и на более высоких частотах.

Область α 1950 = $3^h 22^m \delta_{1950} = 65^{\circ}$ ($l = 138^{\circ}, b = 7^{\circ}$). По двум 4-часовым сеансам получено $T_B^P = (1,70 \pm 0,15) K$, $\chi_{\text{экв}} = 16^{\circ} \pm 3^{\circ}$. Яркостная температура поляризованной компоненты радиоизлучения этой области совпадает в пределах ошибок с температурой, наблюдаемой в области ПО 141 + 8, отстоящей на 3° от рассматриваемой. Однако позиционные углы отличаются на 21° , что соответствует дополнительному вращению в зоне Стремгrena с угловым диаметром 3° вокруг звезды класса B2Ve HD 20336 /21/. При расстоянии до звезды ~ 200 пк /21/, что в 4 - 5 раз меньше протяженности по лучу зрения области генерации поляризованного радиоизлучения в этом диапазоне /2/, угловому диаметру 3° соответствует линейный диаметр 10 пк. Дополнительное вращение -21° на волне 0,33 м отвечает дополнительной мере вращения в центре области -7 рад/м². Зная спектральный класс звезды, можно определить параметр возбуждения U (произведение радиуса зоны НП на электронную концентрацию в степени 2/3) из соотношения /24/

$$\lg U (\text{пк} \cdot \text{см}^{-2}) = -2,60 - 0,135 \cdot S_p. \quad (5)$$

Подставляя в (5) $S_p = I_2 / 24$, получим $U = r_s n_e^{2/3} = 9,55 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-2}$, что при $r_s = 5 \text{ пк}$ даёт $n_e = 3 \text{ см}^{-3}$. Зная меру вращения можно далее оценить и величину параллельной лучу зрения компоненты магнитного поля из соотношения

$$R (\text{рад}/\text{м}^2) = 0,81 \cdot n_e (\text{см}^{-3}) \cdot B_{\parallel} (\text{мкГс}) \cdot D (\text{пк}). \quad (6)$$

Подставляя в (6) $R = 7 \text{ рад}/\text{м}^2$, $n_e = 3 \text{ см}^{-3}$, $D = 10 \text{ пк}$, получим $B_{\parallel} = 0,3 \text{ мкГс}$.

Авторы благодарны В.А.Разину, А.И.Теплых, Л.В.Поповой, В.П.Кормилицыну и В.Д.Вьюгину за внимание к работе и содействие в её выполнении.

Л и т е р а т у р а

1. Отчёт по НИР "Поляризация II", Горький, 1970.
2. Разин В.А. Поляризация и спектры синхротронного радиоизлучения Галактики и дискретных источников. Докторская диссертация. Горький, 1971.
3. Абрамов В.И., Белов И.Ф. Излучатель с переключением линейной поляризации (а.с. СССР № 1023982), опубликовано в Б.И., 1984, № 20, с. 210.
4. Метрикин А.А. Подавление паразитной волны E_{01} в волноводах круглого сечения. - Тр. НИИР, 1963, № 1, с. 7 - 21.
5. Киракосян Р.М., Мосоян К.С. Переключатель на р-і-п диодах для волны 13 см. - XI Всесоюзная радиоастрономическая конференция по аппаратуре, антеннам и методам. Тезисы докладов, Ереван, 1978, с. 12 - 14.
6. Абрамов В.И. О поляризационных характеристиках корреляционного (балансного) поляриметра. - Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1985, т. 20, с. 139 - 148.
7. Абрамов В.И., Корольков Д.В. К выбору поляриметра для измерения линейной поляризации радиоизлучения с радиотелескопом РАТАН-600. - Астрофиз. исслед. (изв. САО), 1985, т. 19, с. 88 - 92.
8. Абрамов В.И. О некоторых особенностях поляризационных характеристик антенны переменного профиля при неидеальном облучателе. Препринт № 182. - Горький: НИРФИ, 1984.
9. Строков А.Ю., Формозов Б.С. Поляриметр 30 см диапазона. - ХУП

- Всесоюзная конференция по радиоастрономической аппаратуре. Тезисы докладов, Ереван, 1985, с. 276 - 277.
10. Крюгер А. Солнечная радиоастрономия и радиофизика. - М.: Мир, 1984.
 11. Абрамов В.И., Белов И.Ф., Виняйкин Е.Н., Разин В.А. Исследование линейной поляризации радиоизлучения нескольких космических радиоисточников на волне 13 см с радиотелескопом РАТАН-600. Препринт 158. - Горький: НИРФИ, 1983 г.
 12. Булатов Д.В., Формозов Б.С. Малогабаритный двухмодульный НЧ блок радиометра. - ХУП Всесоюзная конференция по радиоастрономической аппаратуре. Тезисы докладов, Ереван, 1985, с. 223 - 224.
 13. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. - М.: Мир, 1983.
 14. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы. - М.: Сов. радио, 1979.
 15. Baars J.W.M., Genzel R., Pauliny-Toth I.I.K., Witzel A. The absolute spectrum of Cas A; an accurate flux density scale and a set of secondary calibrators. - *Astron.Astrophys.* 1977, v.61, N 1, p.99 - 106.
 16. Виняйкин Е.Н., Разин В.А. О вековом уменьшении плотностей потоков радиоизлучения остатков сверхновых Кассиопея-А и Телец-А на частоте 927 МГц. - *Астрон. ж.*, 1979, т. 56, в. 5, с. 913 - 917.
 17. Отчёт по НИР "Орион", Горький, 1975.
 18. Brouw W.N., Spoelstra T.A.Th. Linear polarization of the galactic background at frequencies between 408 and 1411 MHz. Reductions. *Astron.Astrophys.Suppl.* 1976, v.26, p.129 - 146.
 19. Пасека А.М. Исследование распределения поляризации галактического радиоизлучения на частоте 920 МГц в области Петли Ш. *Астрон.ж.* 1978, т. 55, в. 6, с. 1163 - 1168.
 20. Baker J.R., Wilkinson A. The linear polarization of part of the northern sky at 49-cm wavelength. *Mon.Not.R.Astr.Soc.*, 1974, v.167, N 3, p.581 - 592.
 21. Wilkinson A., Smith F.G. Characteristics of the local galactic magnetic field determined from background polarization surveys. *Mon.Not.R.Astr.Soc.* 1974, v.167, N 3, p.593 - 611.
 22. Кузнецова И.П., Мельников А.А., Разин В.А. Спектр галактического радиоизлучения в диапазоне длин волн 17 - 32 см по данным поляризационных измерений. - *Изв. вузов - Радиофизика*, 1975, т. 18, в. 10, с. 1548 - 1549.
 23. Bingham R.G. Linear polarization of the galactic radio emission at 1407 Mc/s. *Mon.Not.R.Astr.Soc.* 1966, v.134, N 4, p.327 - 345.

24. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Физика межзвездной среды. - М.: Наука, 1979.
25. Berkhuijsen E.M. A consistent scheme of definitions of polarization brightness temperature and brightness temperature. *Astron. Astrophys.* 1975, v.40, p.311 - 316.
26. Абрамов В.И., Виняйкин Е.Н. Исследование инструментальной линейной поляризации Южного сектора с плоским отражателем радиотелескопа РАТАН-600 на волне 13 см. - *Астрофиз. исслед.* (*Известия САО*), 1985, т. 19, с. 93 - 100.

Дата поступления статьи
15 августа 1986 г.

Виктор Иванович Абрамов
Виталий Витольдович Беликович
Иван Федорович Белов
Евгений Николаевич Виняцкий
Александр Геннадьевич Володин
Игорь Леонидович Крайнов
Александр Юрьевич Строков
Борис Сергеевич Формозов

РАДИОТЕЛЕСКОП ДЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ГАЛАКТИЧЕСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ 30 СМ

Подписано в печать 09.07.86 г. МЦ 00597. Формат 60x84/16
Бумага множительная. Печать офсетная. Объем 1.48 усл. печ. л.
Тираж 120. Заказ 4464. Бесплатно.

Отпечатано на ротатрипте НИРФИ