

Министерство высшего и среднего специального образования  
Р С Ф С Р

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

---

П р е п р и н т № 300

РАДИОПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕТЛИ Ш  
И ОБЛАСТИ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ  
В ДЛИННОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

Ч а с т ь I

А.М.Пасека

Горький 1990

П а с е к а А. М.

РАДИОПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕТЛИ Ш И ОБЛАСТИ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ В ДЛИННОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН//Препринт № 300, Часть I.-Горький: НИРФИ, 1990. - 14 с.

УДК 528.164.4

Обсуждаются результаты эталонирования поляризационных характеристик радиоизлучения избранных областей с координатами:  $\alpha_{1950} = 4^{\text{h}} 30^{\text{m}}$ ,  $\delta_{1950} = 61^{\circ}$ ;  $\alpha_{1950} = 3^{\text{h}} 30^{\text{m}}$ ,  $\delta_{1950} = 70^{\circ}$  и области Полярной звезды ( $\delta_{1950} = 90^{\circ}$ ) на частотах 375; 378; 395; 408; 437; 448 МГц.

Дано описание четырехканального поляриметра дециметрового диапазона волн, который включает в себя систему облучения, радиометр и систему автоматической регистрации и первичной обработки данных измерений.

Исследования линейно поляризованного галактического радиоизлучения в длинноволновой части дециметрового диапазона показали, что поляризационные температуры ( $T_p$ ) имеют немонотонную зависимость от частоты. Чтобы установить истинный характер частотной зависимости  $T_p(\nu)$ , необходимо располагать экспериментальными данными в диапазоне частот 300–500 МГц с шагом по частоте  $\Delta\nu \sim 10 + 20$  МГц. С этой целью в НИРФИ ведутся наблюдения на РАС "Ст. Пуштынь" с помощью 14-метрового радиотелескопа. В 1984–1985 гг. были проведены измерения на частотах 375, 385, 395, 408 МГц /1/, а в период с ноября 1987 года по февраль 1988 года на частотах 408, 437, 448 МГц /2/. Для этих наблюдений был специально разработан четырехканальный модуляционный радиометр с приемником прямого усиления и автоматической системой регистрации измерений, описание которых будет дано ниже.

Методика наблюдений и редакция полученных результатов были аналогичны описанным в /3/. Основные параметры радиотелескопа и калибровочного источника Кассиопеи А приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры радиотелескопа РТ-14

Частота наблюдения (МГц)	Ширина главного луча антенны $\theta_{E_{0,5}} \times \theta_{H_{0,5}}$	Плотность потока Кас. А $10^{-26}$ Вт/град Гц <sup>2</sup>	КНД :	Ширина полосы пропускания радиометра (МГц)	Флуктуационный порог чувств. при $\tau = 1$ с (К)
375	$3^{\circ}55 \times 3^{\circ}54'$	5127	2700	5	0,3
385	$3^{\circ}53 \times 3^{\circ}43'$	5018	2810	5	0,3
395	$3^{\circ}46 \times 3^{\circ}41'$	4912	2920	5	0,3
408	$3^{\circ}36 \times 3^{\circ}36'$	4632	3075	5	0,3
437	$3^{\circ}24 \times 3^{\circ}19'$	4373	3370	5	0,3
448	$3^{\circ}21 \times 3^{\circ}26'$	4267	3340	5	0,3

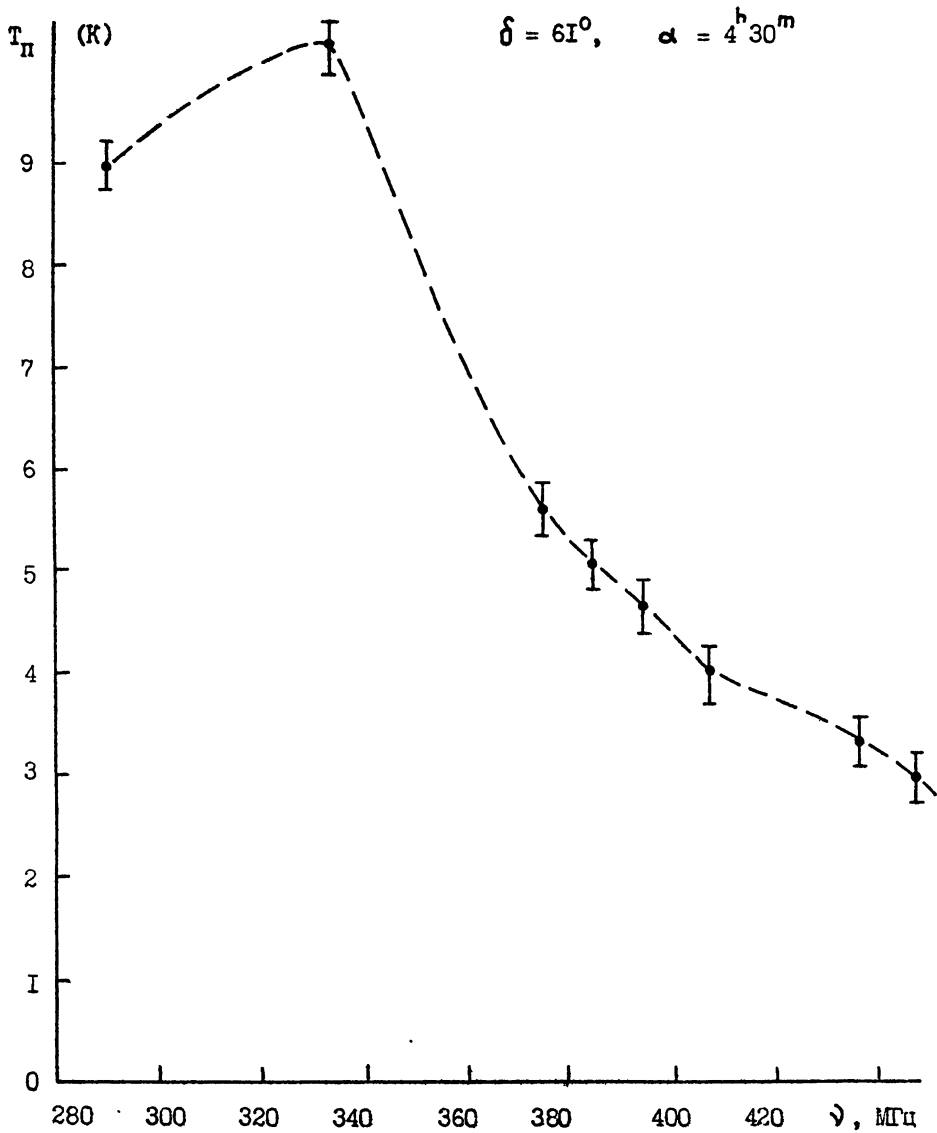
Плотность потока Кассиопеи А определялась согласно /4/ на эпоху 1985 и 1987 гг. Наблюдения проведены в области Петли III с координатами  $56^{\circ} \leq \delta \leq 72^{\circ}$ ,  $00^h \leq \alpha \leq 14^h$  методом "разрезов" по с шагом  $2^{\circ}$  по склонению и для каждого склонения повторялись 3 + 4 раза. Через каждые 3 сеанса "разрезов" проводилось сопровождение

одной из эталонных областей с координатами:  $\delta = 61^\circ$ ,  $\alpha = 4^h 30^m$ ;  $\delta = 70^\circ$ ,  $\alpha = 3^h 30^m$ , а также наблюдалась область Полярной звезды. Наблюдения эталонных областей использовались для более точного определения поляризационных параметров радиоизлучения этих областей, а так же для определения величины побочных сигналов, которые затем учитывались при обработке результатов поляризационных измерений.

Обработка результатов наблюдений калибровочных областей проводилась методом окружности и методом синусоид /5/. В первом методе параметры Стокса ( $Q_\Sigma$  и  $U_\Sigma$ ) анализировались на плоскости ( $Q$ ,  $U$ ), где изображающие точки образуют окружность с радиусом, равным температуре поляризованной компоненты, и с центром, координаты которого дают величину побочного сигнала ( $Q_{\text{поб}}$ ,  $U_{\text{поб}}$ ); во втором методе измеренные значения  $Q_\Sigma$  и  $U_\Sigma$  представлялись, как квазисинусоидальные функции паралактического угла  $\varrho$  и из этих зависимостей определялись параметры космического ( $Q_c$ ,  $U_c$ ) и побочного ( $Q_{\text{поб}}$ ,  $U_{\text{поб}}$ ) сигналов. В обоих методах для вычислений использовался метод наименьших квадратов. Фарадеевское вращение в ионосфере в ночное время было вычислено по данным радиоастрономических поляризационно-Фарадеевских наблюдений на частоте 290 МГц на РАС "Ст. Пустынь". На частоте 408 МГц оно составило величину  $\sim 8^\circ$ , а на частотах 437 и 448 МГц - около  $7^\circ$ .

Результаты поляризационных наблюдений калибровочной области  $\alpha = 4^h 30^m$ ,  $\delta = 61^\circ$  приведены в таблице 2 и на рис. I. Питание радиометра осуществляется от нескольких стабилизированных низковольтных блоков питания типа 59I с дополнительными стабилизаторами напряжения, расположенными вблизи каждого активного элемента. Все указанные меры позволили значительно ослабить паразитные обратные связи. Уход КУ поляриметра не превышает 3% за 4 часа, чувствительность каждого канала -  $0,3^\circ\text{K}$  при  $\tau = 1$  с.

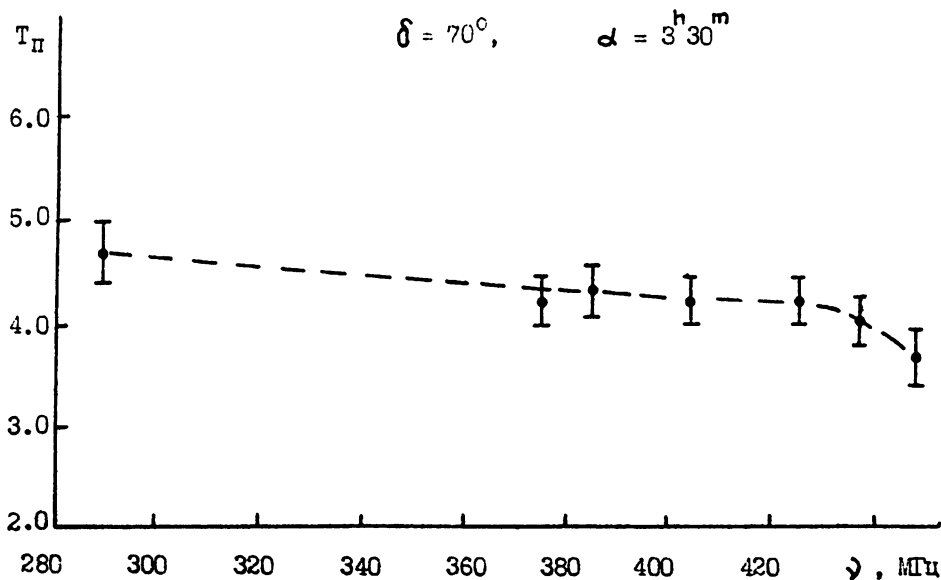
В диапазоне частот 408-448 МГц поляризационная температура продолжает уменьшаться, а позиционные углы остаются постоянными в пределах ошибки измерений ( $\Delta\chi = 5^\circ$ ). Температурный спектральный индекс в диапазоне частот 375-448 МГц равен  $\beta_n = 3,7 \pm 0,1$ . В другой калибровочной области с координатами  $\alpha = 3^h 30^m$ ,  $\delta = 70^\circ$  поляризационные температуры в диапазоне частот 290-448 МГц изменяются незначительно от 4,7К до 3,6К (табл. 3, рис. 2).



Р и с. I

Поляризационные параметры области  $\alpha = 4^h 30^m$ ,  $\delta = 61^\circ$   
 ( $b = 9^\circ 30'$ ,  $l = 146^\circ 47'$ ).

Частота измерения $\nu$ (МГц)	Поляризационная яркостная температура $T_{\Pi}$ (К)	Поляризационный угол (градус)	
		в экватор. системе координат	в галактической системе координат
375	$5,6 \pm 0,3$	$80 \pm 5$	$32 \pm 5$
385	$5,1 \pm 0,3$	$87 \pm 5$	$30 \pm 5$
395	$4,7 \pm 0,3$	$76 \pm 5$	$28 \pm 5$
408	$3,9 \pm 0,3$	$73 \pm 5$	$25 \pm 5$
437	$3,35 \pm 0,3$	$68 \pm 5$	$20 \pm 5$
448	$2,95 \pm 0,3$	$70 \pm 5$	$22 \pm 5$



Р и с. 2

Поляризационные параметры области  $\alpha = 3^h 30^m$ ,  $\delta = 70^\circ$ 

Частота измерений (МГц)	Поляризацион- ная яркостная температура (К)	Позиционный угол (градус)	
		в экваториальной системе координат	в галактической системе коорди- нат
290	$4,7 \pm 0,5$	78	42
375	$4,0 \pm 0,3$	160	124
385	$3,5 \pm 0,3$	2	146
395	$4,2 \pm 0,3$	150	114
408	$4,2 \pm 0,3$	170	134
425	$4,2 \pm 0,3$	170	134
437	$4,0 \pm 0,3$	172	136
448	$3,6 \pm 0,3$	175	139

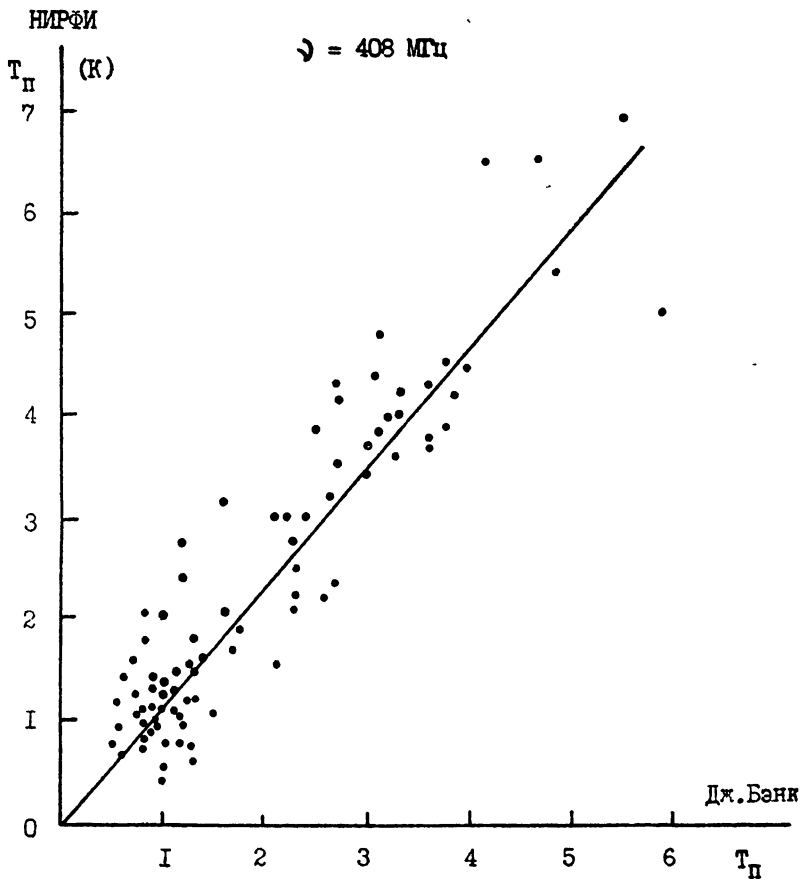
Результаты исследований в области Полярной звезды ( $\delta = 90^\circ$ ) приведены в таблице 4.

Наблюдается монотонное уменьшение поляризационной температуры с ростом частоты ( $\beta_n \approx 2,1$ ).

Таблица 4

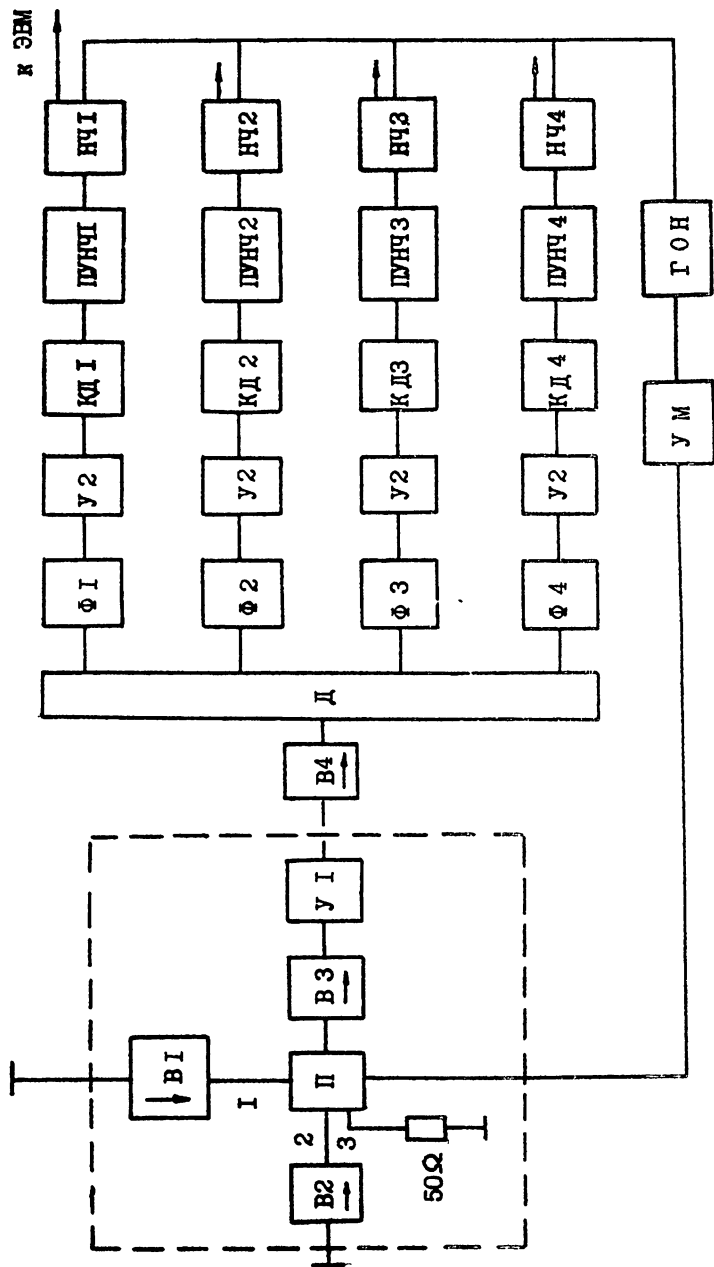
Поляризационные параметры области  
Полярной звезды

Частота измерений (МГц)	Поляризацион- ная яркостная температура (К)	Позиционный угол (градус)	
		в экваториальной системе координат	в галактической системе коорди- нат
375	$1,30 \pm 0,2$	-	-
385	$1,35 \pm 0,2$	-	-
395	$1,15 \pm 0,2$		
408	$0,9 \pm 0,2$	$0^\circ \pm 10$	$12^\circ \pm 10$
437	$0,95 \pm 0,2$	$4^\circ \pm 10$	$16^\circ \pm 10$
448	$0,80 \pm 0,2$	$7^\circ \pm 10$	$19^\circ \pm 10$



Р и с . 3





Р и с . 4

В пределах исследованного участка небосвода выделяется протяженная область ( $\alpha \approx 2^h + 5^h$ ,  $\delta = 58^\circ + 72^\circ$ ) с высокой яркостью и температурой линейно поляризованной компоненты галактического радиоизлучения ( $T_n > 3K$ ). Максимальные значения  $T_n > 6K$  наблюдаются в области с координатами  $\delta = 68^\circ$ ,  $\alpha = 2^h 50^m$ , в то время как характерные значения за пределами области высокой поляризации  $T_n$  не превосходят 1,5 K. Наблюдается еще одна особенность — скачкообразное изменение позиционного угла на  $\Delta\chi \approx 50^\circ$  в области  $\alpha \approx 5^h$  и  $\delta \approx 58^\circ + 66^\circ$  на всех частотах в диапазоне 375+448 МГц.

Частичное перекрытие областей небосвода, в которых проведены измерения на 408 МГц в НИРФИ и в Джодрелл Бенк /6/ с помощью 76-метрового радиотелескопа, позволяет сравнить поляризационные характеристики несмотря на разницу в угловом разрешении ( $4^\circ$  и  $0^\circ 46'$ )  $T_n - T_n$  диаграмма (рис.3) находится в хорошем согласии. Правда, имеется некоторое различие температурных шкал (15%). Область  $\delta \approx 50^\circ - 60^\circ$ ,  $10^h \leq \alpha \leq 14^h$  совпадает с волокнистой туманностью  $b \approx 60^\circ / 7/$ , и здесь наблюдаются более высокие осциллирующие значения  $T_n$ , чем в окружающих областях небосвода. Позиционные углы  $\chi(\alpha)$  претерпевают резкое изменение.

Проведенные поляризационные измерения позволяют сделать вывод, что излучение линейно поляризованной компоненты и Петли III генерируется в одних и тех же областях межзвездного пространства. Результаты поляризационных измерений на частотах 375, 385, 395, 408, 437, 448 МГц приведены в виде графиков поляризационных температур  $T_n$  и позиционных углов  $\chi_{\text{экв}}$  плоскости поляризации в экваториальной системе координат как функции прямого восхождения (рис.5-53) и в таблице 5, в которой указаны частоты наблюдений 375, 385, 395, 408, 437, 448 МГц и для соответствующих  $\alpha$  и  $\delta$  приведены  $T_n(K) / \chi_{\text{экв}}$  (в градусах) /  $\chi_{\text{гал}}$  (в градусах), см. часть 2 и часть 3 данного препринта.

### Четырехканальный поляриметр

Для спектральных исследований линейно поляризованного галактического радиоизлучения был изготовлен четырехканальный поляриметр дециметрового диапазона волн, который включает в себя а) систему облучения, б) радиометр, в) систему автоматической регистрации данных

измерений.

### а. Система облучения

Облучатель представляет собой закороченный отрезок коаксиального волновода, возбуждаемый двумя взаимно перпендикулярными штырями, которые поочередно подключаются ко входу радиометра с помощью СВЧ переключателя с частотой 1000 Гц. Для расширения полосы пропускания облучателя проводилась доработка его конструкции: экспериментальным путем подбирались длина облучателя  $l$ , его диаметр  $D$ , расстояние до закороченного конца  $l_1$  и диаметр штырей  $d$  с целью наилучшего согласования по КСВН. Эксперимент показал, что согласование облучателя слабо зависит от его длины  $l$  в пределах  $0,25 \lambda_{ср} \leq l \leq 1,0 \lambda_{ср}$  и при относительном диаметре  $D/\lambda_{ср} = 0,8$ ,  $l_1 = 150$  мм и  $d = 16$  мм. Запитка штырей осуществлялась через 75-омные четвертьволновые трансформаторы, что приводило к улучшению согласования облучателя в более широкой полосе частот КСВН облучателя в 10% полосе частот не превышал 1,3.

### б. Четырехканальный радиометр

В основу поляриметра, блок-схема которого представлена на рис. 4, положен модуляционный радиометр с приемником прямого усиления.

В применяющихся до сих пор поляриметра, как правило, используются два идентичных СВЧ переключателя: один из них работает в режиме измерения поляризации и расположен в непосредственной близости от облучателя, а второй — в режиме калибровки по радиоисточникам и генератору шума (ГШ) и находится вместе с приемником в кабине радиотелескопа. В данной схеме вблизи облучателя расположена головная часть радиометра (на рис. обозначена пунктиром), включающая в себя специально разработанный для этой цели трехплечный переключатель СВЧ П, вентили В и малошумящий ( $K_{ш} = 2$  дБ) стандартный СВЧ-усилитель У1 типа М42Г36. Переключатель П совмещает функции двух ранее применявшихся, причем позволяет избежать дополнительных потерь в одном из них ( $\sim 0,5$  дБ) и исключить влияние потерь во входном тракте ( $\sim 3$  дБ). После усиления в У1 ( $\sim 25$  дБ) сигнал подается в кабину радиотелескопа где расположена остальная часть при-

емника и через вентиль В4 поступает на делитель мощности D (с 4 развязанными выходами, с развязкой не хуже 25 дБ). Далее показаны 4 идентичных канала, где  $\Phi_{1,2,3,4}$  - фильтры на встречных стержнях на одну из указанных частот с шириной полосы пропускания 5 МГц; У2 - стандартные транзисторные усилители типа УТР-4 с коэффициентом усиления 26 дБ; КД - квадратичные детекторы, выполненные на обращенном туннельном диоде 1U 401A, входной контур которых представляет четвертьволновые короткозамкнутые отрезки микрополосковых линий с автотрансформаторным входом. Конструкция входной цепи детектора позволяет получить больший коэффициент передачи и достаточно узкую полосу пропускания ( $\sim 10$  МГц) для уменьшения наводок от соседних каналов. ПУНЧ выполнен на малошумящей микросхеме 538УНЗ с коэффициентом усиления 100 и микросхеме 538УН1 с коэффициентом усиления 20. НЧ - низкочастотные блоки с выходами на АЦП и самописец.

Элементы каждого канала размещаются в общем корпусе, разделенном экранирующими перегородками. СВЧ соединения в них выполнены с помощью коротких полосковых линий. КД кроме того имеют дополнительную экранировку.

## в. Система автоматической регистрации

Система автоматической регистрации и первичной обработки данных измерений, созданная для описываемого 4-х канального поляриметра, включает следующие элементы:

- 1) ЭВМ ДЗ-28;
- 2) интерфейс ДЗ-28;
- 3) перфоратор ПЛУ-1, и
- 4) блок сопряжения.

Интерфейс ДЗ-28 имеет в своем составе, кроме согласующих плат, аналого-цифровой преобразователь, коммутатор на 8 каналов и электронные часы - таймер.

Блок сопряжения имеет плату согласования перфоратора ПЛУ-1 и плату, формирующую импульсы запуска коммутатора интерфейса ДЗ-28-1. Сигналы каждого канала радиометра поступают на коммутатор каналов интерфейсного блока, где поканально обрабатываются аналого-цифровым

преобразователем. В процессе измерений облучатель радиотелескопа вращается с постоянной скоростью один оборот за 5 минут. Информация с выхода радиометра поступает на коммутатор дискретно в моменты, соответствующие повороту облучателя РТ на угол  $45^{\circ}$ . Таким образом, за полный оборот облучателя РТ происходит 8 отсчетов. Через каждые  $45^{\circ}$  из блока отчетов поступает сигнал, запускающий систему. При этом под управлением вычислительной машины начинается опрос, через коммутатор каналов, поочередно всех 4-х каналов радиометра. После записи информации ЭВМ снова ожидает сигнала запуска из блока отсчета. За полный оборот облучателя РТ происходит 8 запусков системы, после чего производится вычисление и занесение в память параметров Стокса  $Q$  и  $U$  для каждого канала. Массив данных  $Q$  и  $U$  выводится на перфоленду периодически через 1,5-2 часа, причем для учета изменения усиления приемника в начале и в конце массива записывается калибровочный сигнал (от внутреннего источника шума или внешнего источника, например Кассиопеи-А).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет по НИР "Персей", № гос. регистрации 81039598, Горький, 1985.
2. Отчет по НИР "Пегас", № гос. регистрации 01860073843.
3. В.А.Разин, В.В.Хрулев, В.Т.Федоров, С.А.Волохов, А.А.Мельников, А.М.Пасека, Л.В.Пупышева. - Изв.ВУЗов. Радиофизика, 1968. - Т. II, № 10. - С.1461-1472.
4. 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.
5. Отчет по НИР "Орион", № гос. регистрации 73025529, Горький 1975.
6. Baker J.R., Smith F.G. The linear polarization of part the northern sky at 73 cm wavelength. - *Mon. Not. R. Soc.*, 1971, v.152, N 3, p. 361-376.

7. Andrew B.H. Mon.Not.R.astr.Soc., 1969, 143, 17.
8. Haslam C.G.T., Salter C.J., Stoffel H. and Wilson W.E. Astr.Ap. Suppl., 1982, 47, 1.

Дата поступления статьи  
2 января 1990 года

Пасека Анатолий Михайлович

РАДИОПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕТЛИ Ш  
И ОБЛАСТИ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ  
В ДЛИННОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН  
Часть 1

---

Подписано в печать 17.04.90 г. МЦ 21413. формат 60x84 / 16.  
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 0,95 усл. п. л.  
Заказ 5065. Тираж 120. Бесплат но.

---

Отпечатано на ротационной НИРФИ