

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ (НИРФИ)

Филиал кафедры радиоастрономии и распространения
радиоволн

Препринт N 461

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
РАДИОТЕЛЕСКОПА И
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ
ПОЛЯРИЗАЦИИ ПО
РАДИОИЗЛУЧЕНИЮ СОЛНЦА

(Методическая разработка для магистрантов
радиофизического факультета ННГУ)

Е. Н. Виняйкин
В. А. Разин
А. И. Теплых

Нижний Новгород
2000

Виняйкин Е. Н., Разин В. А., Теплых А. И.

Измерение параметров радиотелескопа и инструментальной поляризации по радиоизлучению Солнца: Описание лабораторной работы для учащихся магистратуры радиофизического факультета ННГУ // Препринт №461 — Нижний Новгород, НИРФИ, 2000. 20 с.

Описание посвящено лабораторной работе, выполняемой учащимися магистратуры первого года обучения, после того как они прослушали курс “Введение в радиоастрономию”. Работа выполняется на радиоастрономической обсерватории НИРФИ “Старая Пустынь”. В лабораторной работе измеряется диаграмма направленности 10-го радиотелескопа, определяется её ширина на уровне половинной мощности, коэффициент направленного действия и измеряется инструментальная линейная поляризация. Перед выполнением работы обучаемые получают инструктаж по технике безопасности от преподавателя.

Работа выполнена в рамках проекта №570 — Учебно-научный центр “Фундаментальная радиофизика”, направление 2.1: Развитие и поддержка системы совместных учебно-научных центров, филиалов университетов и кафедр университетов и гранта РФФИ №00-15-96591 — Ведущая научная школа “Галактическая и внегалактическая радиоастрономия. Межзвездная среда”.

Рецензенты:

доктор физ.-мат. наук, профессор Кисляков А. Г.

кандидат физ.-мат. наук, зав. отделом НИРФИ Токарев Ю. В.

1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что существование радиоволн было предсказано Максвеллом в 1873 г. В 1887 г. Герц экспериментально подтвердил это предсказание, а в 1895 г. Попов использовал радиоволны для радиосвязи. С этих же лет ведут начало и попытки обнаружить радиоизлучение небесных тел и прежде всего Солнца. Однако лишь после создания достаточно чувствительных приемников эти попытки увенчались успехом. Первым кто обнаружил космическое радиоизлучение был американский инженер Янский. В 1932 г. он открыл радиоизлучение из Млечного пути на частоте 20,5 МГц, причем максимальная интенсивность приходилась на ту его часть, где расположен центр Галактики. В годы войны было обнаружено радиоизлучение Солнца. Бурное развитие радиоастрономии началось в первые послевоенные годы. Радиоастрономия стала важнейшей составляющей астрономии, а после начала наблюдений на космических аппаратах в гамма, рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра астрономия стала всеволновой.

Радиоастрономические исследования в нашей стране развернулись после войны в ряде исследовательских физических институтов и университетов, в том числе в Горьковском (ныне Нижегородском) государственном университете им. Н. И. Лобачевского (ННГУ). Далее в нашем городе радиоастрономия успешно развивалась и развивается в Научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ), Институте прикладной физики (ИПФ РАН) и ННГУ.

Настоящее описание посвящено лабораторной работе, которую выполняют учащиеся магистратуры радиофизического факультета ННГУ на радиоастрономической обсерватории НИРФИ "Старая Пустынь" после того как они прослушали курс "Введение в радиоастрономию", читаемый на кафедре радиоастрономии и распространения радиоволн ННГУ. В связи с этим здесь не приводится подробное изложение соответствующих разделов радиоастрономии, а лишь напоминаются необ-

ходимые для выполнения работы сведения. Кроме того, в последнем 8 разделе приводится список книг, в которых подробно освещены различные аспекты рассматриваемых здесь разделов радиоастрономии, в том числе и история радиоастрономии.

2. НАЗНАЧЕНИЕ РАДИОТЕЛЕСКОПА

Радиоастрономические исследования космических объектов ведутся с помощью радиотелескопов. Радиотелескоп — основной инструмент наблюдательной радиоастрономии. Радиотелескоп состоит из антенны того или иного типа и соответствующей приемной аппаратуры. Тип и параметры антенны и приемной аппаратуры должны соответствовать исследуемому космическому объекту, свойствам его радиоизлучения и виду наблюдений этого объекта. В радиоастрономии применяются различные виды наблюдений. Рассмотрим основные из них.

1. Измерение интенсивности или яркостной температуры непрерывного (наиболее распространенными видами непрерывного радиоизлучения в космических источниках является синхротронное излучение релятивистских электронов и тормозное излучение ионизованного газа) радиоизлучения протяженных объектов (то есть таких объектов, угловые размеры которых намного больше ширины главного луча антенны радиотелескопа) или распределенного радиоизлучения нашей Галактики в зависимости от угловых координат на фиксированной частоте радиоизлучения. Этот вид наблюдений называется радиокартографированием объекта в непрерывном спектре, поскольку в результате наблюдатель получает распределение радиояркостности по объекту, представляемое обычно в виде радиоизофот яркостной температуры. Исторически это самый первый вид радиоастрономических наблюдений. Именно с картографирования, пусть поначалу и очень грубого, радиоизлучения из Млечного пути нашей Галактики (или как теперь говорят галактического радиоизлучения) на волнах декаметрового, метрового и дециметрового диапазонов и началась радиоастрономия. Са-

мые большие современные одиночные радиотелескопы (то есть не находящиеся во время наблюдений в составе той или иной системы из нескольких или многих совместно работающих радиотелескопов, представляющей собой интерферометр или систему апертурного синтеза того или иного типа) с диаметром антенны 70–100 м позволяют выполнять радиокартографирование объектов с угловыми размерами не менее нескольких минут дуги на волнах миллиметрового диапазона. На более длинных волнах эта нижняя граница углового размера источника увеличивается пропорционально длине волны. Чтобы исследовать распределение радиояркости в источниках с угловыми размерами в масштабе секунд дуги созданы системы апертурного синтеза, а для наиболее компактных радиоисточников и компактных компонент (ядер, струй) в квазарах и ядрах активных галактик используются глобальные сети радиоинтерферометров с независимым приемом (РСДБ), позволяющие реализовать угловое разрешение до десятых долей миллисекунды дуги. Проведены и РСДБ-наблюдения с использованием антенны, помещенной на космическом аппарате, что позволило еще более повысить угловое разрешение. Радиокартографирование, выполненное на ряде частот, позволяет исследовать спектр непрерывного радиоизлучения в различных участках исследуемого радиоисточника. Кроме непрерывного радиоизлучения радиоисточник может излучать в радиолиниях различных ионов, атомов и молекул. Первой радиолинией, открытой в радиоастрономии, является линия 21 см наиболее распространенного во Вселенной элемента водорода. Соответственно весьма распространенным видом наблюдений является радиокартографирование источников в спектральных линиях. Приемная аппаратура при этом существенно отличается от применяемой при исследовании непрерывного радиоизлучения.

2. Радиополяризационное картографирование протяженных объектов и галактического радиоизлучения производится с целью получения распределения яркостной температуры линейно

поляризованной компоненты радиоизлучения и позиционного угла плоскости поляризации по исследуемому объекту. Наличие линейно поляризованной компоненты в радиоизлучении космического объекта связано в большинстве случаев с синхротронным механизмом радиоизлучения. Знание радиополяризационных характеристик источника на ряде частот позволяет получить карту его магнитного поля, исследовать ионизованный газ и релятивистские электроны в источнике. Рассматриваемый вид наблюдений предъявляет специфические требования к характеристикам антенны и требует применения в качестве приемной аппаратуры радиополяриметра, обеспечивающего измерение параметра Стокса I — интенсивность (как и в картографировании радиояркости), параметров Стокса Q и U , описывающих линейную поляризацию. Четвертый параметр Стокса V описывает круговую поляризацию, которая пренебрежимо мала в галактическом радиоизлучении и много меньше линейной поляризации в большинстве галактических и внегалактических источников непрерывного радиоизлучения. Примером источников со значительной круговой поляризацией являются мазерные источники в линии H_2O 1,35 см.

3. Существуют и другие виды наблюдений, например: абсолютные измерения плотностей потоков дискретных радиоисточников (дискретным является радиоисточник, угловые размеры которого много меньше ширины главного луча антенны радиотелескопа), поисковые обзоры радиоисточников, измерения временных и спектральных характеристик быстропеременных радиоисточников (Солнце, звезды, пульсары), измерения координат источников и т. д.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ АНТЕННЫ РАДИОТЕЛЕСКОПА

Радиоастрономическую антенну можно определить как устройство, в котором осуществляется преобразование приходящей от источника электромагнитной волны в волну, распро-

страняющуюся в линии передачи и поступающую далее на вход приемника, где она преобразуется соответствующим образом. Для того, чтобы по измеренным параметрам радиоизлучения, принятого от источника, определить характеристики самого радиоисточника, например, угловое распределение и величину яркостной температуры, плотность потока радиоисточника и т. д. необходимо знать характеристики антенны. Отклик антенны на радиоизлучение дискретного источника, находящегося в дальней зоне антенны (все космические радиоисточники по отношению к существующим в настоящее время антеннам и антенным системам удовлетворяют этому условию), зависящий от угловых координат θ , φ , характеризующих направление электрической оси антенны по отношению к направлению на источник, определяет важнейшую характеристику, называемую *диаграммой направленности антенны* $F(\theta, \varphi)$. Различают диаграмму направленности по полю и по мощности. Ниже будем иметь дело с диаграммой направленности по мощности. У диаграммы направленности существует главный лепесток (или луч), соответствующий направлению максимального отклика, и боковые лепестки. В первом приближении достаточно знать два сечения главного лепестка диаграммы направленности, одно из которых представляет собой сечение наиболее узкой части, а другое — сечение наиболее широкой части главного лепестка диаграммы направленности. Важным параметром антенны, характеризующим направленные свойства антенны в направлении максимума диаграммы направленности, является коэффициент направленного действия (КНД), определяемый как отношение максимального отклика (отклика в максимуме диаграммы направленности) к среднему по всем направлениям отклику. Определим КНД через диаграмму направленности по мощности $F(\theta, \varphi)$, обозначив его D

$$D = \frac{4\pi F_{\max}}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} F(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta \, d\varphi} .$$

В данной лабораторной работе определяется КНД по главному лучу радиотелескопа, поэтому интегрирование по θ должно проводиться до θ_0 , соответствующего первому минимуму диаграммы направленности. Радиотелескоп РТ-10 обладает диаграммой направленности, главный луч которой практически осесимметричен (отклонение составляет несколько процентов), поэтому уместно использовать осесимметричное приближение и считать, что $F = F(\theta)$. Тогда из формулы для D после интегрирования по φ получим

$$D_{\text{гл}} = \frac{2F_{\text{max}}}{\int_0^{\theta_0} F(\theta) \sin(\theta) d\theta}.$$

Задания к разделу 3

1. Каковы должны быть размеры антенной системы, для которой в ближней зоне оказалось бы Солнце, центр Галактики, радиогалактика Лебедь-А? Длины волн 1 мм, 1 см, 1 м.
2. Вычислить КНД антенны с осесимметричной гауссовой диаграммой направленности $F = \exp[-4 \ln 2 (\theta/\Delta\theta_{0.5})^2]$, где $\Delta\theta_{0.5}$ — ширина диаграммы направленности на уровне 0.5. Ограничиться мапоугловым приближением ($\sin \theta \approx \theta$), что соответствует достаточно узкому главному пучу антенны, интегрирование по θ провести от 0 до бесконечности.

4. ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОТЕЛЕСКОПА. МАТРИЦА МЮЛЛЕРА, ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Идеальный радиотелескоп, предназначенный для поляризационных наблюдений, не должен исказить поляризационные свойства радиоизлучения, принимаемого от космического источника. На практике всегда происходит некоторое искажение состояния поляризации и задача радиоастронома заключается

в минимизации этого искажения и учете его влияния при обработке наблюдательных данных. Влияние радиотелескопа на состояние поляризации принимаемой электромагнитной волны описывается матрицей Мюллера. Известно, что частично поляризованное радиоизлучение описывается четырьмя независимыми параметрами Стокса I, Q, U, V (в случае монохроматического сигнала только три параметра являются независимыми), образующими вектор-столбец $S_i(\theta, \varphi)$ ($i = 1, 2, 3, 4$). Радиотелескоп характеризуется оператором — 4×4 матрицей Мюллера $M_{ij}(\theta, \varphi)$, которая описывает преобразование вектора Стокса радиотелескопом. Вектор Стокса на выходе радиотелескопа $S_{\text{вых}}(\theta, \varphi)$ связан с вектором $S(\theta, \varphi)$ на входе соотношением

$$\begin{pmatrix} I_{\text{вых}} \\ Q_{\text{вых}} \\ U_{\text{вых}} \\ V_{\text{вых}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix}.$$

В этом соотношении звездочка обозначает операцию вычисления интеграла антенного сглаживания и только в случае точечных (дискретных) источников, когда все S_i являются δ -функциями угловых координат эта операция сводится к умножению. Параметры Стокса S_i могут быть выражены в случае протяженного источника и в единицах яркостной температуры, тогда $S_{\text{вых}i}$ будут выражены в антенных температурах. Элемент M_{11} является диаграммой направленности радиотелескопа. Не искажающий состояние поляризации радиотелескоп характеризуется диагональной матрицей, у которой $M_{11} = M_{22} = M_{33} = M_{44} = F(\theta, \varphi)$. На практике, конечно, этот идеальный случай не достигается. Наиболее значимыми недиагональными элементами матрицы Мюллера являются элементы первого столбца M_{21}, M_{31}, M_{41} , которые описывают инструментальную поляризацию. Дело в том, что первый параметр Стокса I (интенсивность) в непрерывном радиоизлучении космических радиоисточников обычно намного больше параметров Q и U , а V

много меньше Q и U . Если даже радиоизлучение источника неполяризовано ($Q = U = V = 0$), то на выходе радиотелескопа параметры $Q_{\text{вых}}$, $U_{\text{вых}}$, $V_{\text{вых}}$ не равны нулю, из-за существования инструментальной поляризации. Для полного описания свойств радиотелескопа необходимо, конечно, знание всех 16-ти элементов матрицы Мюллера, но во многих случаях достаточно измерить инструментальную поляризацию и учитывать её при обработке данных поляризационных наблюдений.

5. ОПИСАНИЕ 10-МЕТРОВОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА-ПОЛЯРИМЕТРА, РАСПОЛОЖЕННОГО В РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ НИРФИ “СТАРАЯ ПУСТЫНЬ”

5.1. АНТЕННА

Антенна радиотелескопа РТ-10 представляет собой параболический рефлектор диаметром 10 метров с фокусным расстоянием 2,8 метра. Поверхность рефлектора до диаметра 7 м сплошная алюминиевая с точностью поверхности ± 1 мм, до диаметра 10 м сетчатая (5×5 мм) с точностью поверхности ± 5 мм. Монтровка рефлектора — азимутально-вертикальная с диапазоном вращения радиотелескопа по азимуту без ограничения в обоих направлениях, по углу места от 18° до 90° . Облучатель и высокочастотная часть радиометра поддерживаются с помощью четырех тяг, опирающихся на антенну вблизи края её сплошной части. Для калибровки радиополяриметра у вершины антенны на расстоянии четверть длины волны от её поверхности установлен вспомогательный полуволновой вибратор с щелевым симметрирующим устройством, ориентированный в вертикальной плоскости. Он запитывается от шумового генератора.

5.2. РАДИОПОЛЯРИМЕТР

Радиополяриметр выполнен по схеме поляриметра сравнения ортогональных линейно поляризованных компонент и представляет собой модуляционный радиометр, ко входу которого подключен поляризационный тракт, обеспечивающий выделение и переключение ортогональных линейных компонент принимаемого радиоизлучения. С помощью данного поляриметра возможно осуществлять одновременную регистрацию суммы и разности линейно поляризованных компонент принимаемого радиоизлучения, что достигается применением двойной амплитудной модуляции. Это означает, что одновременно возможна регистрация параметров Стокса I и Q или U (в зависимости от значения позиционного угла поворота облучателя антенны вокруг оси радиотелескопа). Для этой цели с помощью переключателя линейных поляризаций осуществляется коммутация взаимно перпендикулярных вибраторов с частотой $f_1 = 500$ Гц, а с помощью переключателя интенсивности производится коммутация входа приемника с антенны на согласованную нагрузку с частотой $f_2 = 2f_1$. Приемник выполнен по схеме прямого усиления с общим усилением около 50 дБ. Гребенчатый фильтр, установленный между двумя высокочастотными усилителями, может перестраиваться в диапазоне 900–1000 МГц и формирует частотную характеристику поляриметра с шириной около 20 МГц. В настоящее время установлена рабочая частота 910 МГц. На выходе квадратичного детектора сигнал разделяется на два низкочастотных канала, в одном из которых на частоте f_1 выделяется линейно поляризованный сигнал, а в другом, на частоте f_2 — интенсивность.

6. ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

6.1. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Диаграмму направленности измеряют или вычисляют различными методами. В данной лабораторной работе задействован радиоастрономический метод, использующий радиоизлучение дискретных космических источников. В качестве такого радиоисточника удобно использовать Солнце, поскольку это наиболее мощный космический радиоисточник и его угловые размеры (около половины градуса) много меньше ширины луча 10-метрового радиотелескопа на частотах 900–1000 МГц. Небольшое уширение измеренной диаграммы направленности по сравнению с истинной нетрудно учесть расчетным путем. Измерения диаграммы направленности по Солнцу удобно проводить вблизи 12 часов по зимнему времени, сопровождая Солнце в его движении по небосводу только по одной из двух угловых координат горизонтальной системы координат, а именно по углу места h , который у Солнца вблизи полудня меняется медленно. При этом за счет движения Солнца по другой координате горизонтальной системы координат — азимуту A и прописывается диаграмма направленности радиотелескопа, выставленного по азимуту на некоторое фиксированное значение $A = A_0$ с упреждением относительно Солнца. Для проведения измерения диаграммы направленности РТ-10 в пределах её главного луча необходимо выполнить следующие действия:

1. Включить приемник примерно за 1 час до начала измерений. Проверить по сигналам точного времени правильность хода хронометра, с помощью которого на самописец подаются минутные метки.
2. Выставить с помощью регулировки усиления низкочастотного блока интенсивности приемной аппаратуры необходимое значение усиления. Для этого необходимо навести радиотелескоп по заранее вычисленным на день измерений ко-

ординатам на Солнце, затем отвести его от Солнца по азимуту в ту или другую сторону на угол, определяемый из формулы $\Delta A = 70 (\lambda/d \cos h_{\odot})$, где λ — длина волны, на которой проводятся измерения и равная 0,33 м, d — диаметр антенны (10 м), h_{\odot} — угол места Солнца на момент его кульминации. При этом надо подобрать усиление так, чтобы разность уровней, соответствующих радиоизлучению Солнца и “опорной” области, на ленте самописца занимала бы 75–80% её ширины. При необходимости эту процедуру надо повторить. Установить значение постоянной времени радиометра равным 1 сек.

3. Проверить позиционный угол облучателя и при отличии его от нуля выставить путем вращения облучателя с помощью включения двигателя нулевое значение позиционного угла. Обеспечить путем соответствующей коммутации прием радиоизлучения на вертикальный (или горизонтальный) вибратор облучателя.
4. Выставить радиотелескоп по азимуту на угол, отличающийся от текущего значения азимута Солнца в сторону его движения на угол $2\Delta A$ и не перемещать далее радиотелескоп по этой координате.
5. Сопровождать Солнце по другой координате h по заранее вычисленным координатам Солнца на день измерений. При этом и прописывается главный луч диаграммы направленности радиотелескопа. Сопровождение по h заканчивается, когда азимут Солнца станет больше азимута радиотелескопа (неперемещаемого в процессе измерений по азимуту) на ΔA . Если в измерениях был задействован вертикальный вибратор, то есть принималась вертикальная линейно поляризованная компонента радиоизлучения Солнца, то в результате получается диаграмма в “Н”-плоскости, если горизонтальный, то в “Е”-плоскости. Возможен и такой режим измерений, когда происходит коммутация с частотой 500 Гц вертикального и горизонтального вибраторов. При этом измеряется среднее значение диаграммы направленности.

6.2. ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ В ИЗМЕРЕНИЯХ ДАННЫХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ГЛАВНОГО ЛУЧА И КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

В результате выполнения пункта 6.1 получена кривая на ленте самописца, представляющая собой зависимость мощности принятого от Солнца радионизлучения от времени. Необходимо же иметь зависимость от угла, то есть диаграмму направленности. Обработка записи состоит из следующих этапов:

1. Соединить отрезком прямой крайние точки записи. Это нулевая линия записи.
2. Оцифровать запись путем измерения расстояния между точками на кривой в начале каждой минуты (здесь на записи имеются минутные метки) и нулевой линией.
3. Составить таблицу, где в первом столбце записывается время в часах и минутах, во втором отсчеты в миллиметрах, снятые упомянутым выше образом.
4. Далее с помощью координат Солнца в зависимости от времени для каждого отсчета вычисляется угол между направлением максимума диаграммы направленности и направлением на Солнце

$$\theta = \delta A \cos h,$$

где δA — расстояние по азимуту между текущим азимутом Солнца и фиксированным азимутом антенны, h — текущий угол места Солнца.

5. Построить диаграмму направленности как зависимость отсчетов от угла θ отдельно для левой и правой половин записи прохождения Солнца.
6. Определить ширину диаграммы направленности на половинном уровне $\Delta\theta_{0,5}$ как сумму полуширин на уровне 0.5, определенных по левой и правой половинам диаграммы направленности.

7. Построить кривые произведения $F(\theta) \sin(\theta)$ в зависимости от θ для каждой из половин диаграммы направленности и вычислить площадь под каждой из этих кривых. По формуле для КНД осесимметричной диаграммы направленности вычислить $D_{\text{гл}}$ для обеих половинок и взять их среднее арифметическое. Это и будет искомое значение коэффициента направленного действия.

Задания к разделу 6

1. Вычислить ширину диаграммы направленности по приближенной формуле $\Delta\theta_{0.5} = 70 (\lambda/d)$ и сопоставить с полученной из измерений величиной $\Delta\theta_{0.5}$.
2. По формуле, полученной в результате выполнения задания 2 к разделу 3 вычислить КНД по значению $\Delta\theta_{0.5}$ из оценки предыдущего пункта задания к разделу 6 и по значению $\Delta\theta_{0.5}$ из измерений. Сопоставить эти значения КНД со значением, полученным из измерений и оценить различие в процентах.

7. ИЗМЕРЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Как следует из определения инструментальной линейной поляризации, данного в разделе 6, для её измерения следует измерить значения параметров Стокса на выходе радиотелескопа, принимающего радиоизлучение неполяризованного источника. В качестве источника, не имеющего линейно поляризованной компоненты в составе своего радиоизлучения, удобно использовать спокойное Солнце — мощный неполяризованный радиоисточник. Чтобы измерить ИЛП необходимо одновременно принять радиоизлучение Солнца по каналам интенсивности и поляризации. ИЛП по параметрам Стокса Q и U определяется из соотношений

$$P_Q = Q_{\text{вых}}/I_{\text{вых}},$$

$$P_U = U_{\text{вых}}/I_{\text{вых}}.$$

Процедура измерений ИЛП состоит из выполнения следующих пунктов (предполагается, что уже выполнены те подготовительные процедуры, которые выполняются перед измерением диаграммы направленности):

1. Проверить значение позиционного угла поляризационного тракта и при отличии его от нуля выставить путем вращения тракта нулевое значение. Произвести одновременную калибровку по каналам интенсивности и поляризации с помощью вертикально линейно поляризованного сигнала, излучаемого вспомогательным полуволновым вибратором, на который подается сигнал от генератора шума. Калибровка состоит из записи нулевого уровня (когда генератор шума выключен), записи уровня, когда генератор шума включен и второй записи нулевого уровня после выключения генератора шума.
2. Навести радиотелескоп на Солнце и прописать сигнал от него по обоим каналам (интенсивности и поляризации). Отвести радиотелескоп от Солнца на угол, равный значению ширины главного луча на уровне $0.5 \Delta\theta_{0.5}$ (то есть приблизительно на $2,5^\circ$) и прописать этот уровень. Повторить указанные действия 4–5 раз. Полученные “ступеньки” усреднить.
3. Повернуть поляризационный тракт на угол 45° (против часовой стрелки, если смотреть в направлении визирования радиотелескопа). Повторить указанные в предыдущем пункте действия.
4. Вычислить инструментальную поляризацию P_Q по параметру Стокса Q по результатам измерений в пунктах 1 и 2 по формуле

$$P_Q = \frac{n_Q/n_{\Gamma\text{ШР}}}{2n_I/n_{\Gamma\text{ШИ}}},$$

по параметру Стокса U по формуле

$$P_U = \frac{n_U/n_{\Gamma\text{ШР}}}{2n_I/n_{\Gamma\text{ШИ}}}.$$

В этих формулах n_Q , n_U — усредненные значения ступенек от Солнца по каналу поляризации при позиционных углах облучателя соответственно 0° и 45° , n_I — ступенька от Солнца по каналу интенсивности, $n_{ГШР}$, $n_{ГШ}$ — ступеньки от генератора шума соответственно по каналам поляризации и интенсивности.

Измеренные значения P_Q и P_U есть значения отношений M_{21}/M_{11} и M_{31}/M_{11} в максимуме диаграммы направленности. При проведении обработки данных радиополяризационных наблюдений необходимо учитывать измеренные значения инструментальной линейной поляризации.

Задание к разделу 7

Получить соотношение между $Q_{\text{вых}}$ и Q при наблюдениях линейной поляризации дискретного (точечного) радиоисточника (то же для параметра U).

Отчет о лабораторной работе должен содержать запись диаграммы направленности на ленте самописца, полученную на радиотелескопе (или её копию), и результаты выполнения всех заданий к данной работе.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кисляков А. Г., Разин В. А., Цейтлин Н. М. Введение в радиоастрономию. Часть 1. Основы радиоастрономии. — Н. Новгород: Нижегородский ун-т, 1995.

2. Кисляков А. Г., Разин В. А., Цейтлин Н. М. Введение в радиоастрономию. Часть 2. Техника радиоастрономии. — Н. Новгород: Нижегородский ун-т, 1996.
3. Железняков В. В. Излучение в астрофизической плазме. — М.: Янус-К, 1997.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

4. Краус Д. К. Радиоастрономия. — М.: Сов. радио. 1973.
5. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. — М.: Наука, 1972.
6. Христиансен У., Хёгбом И. Радиотелескопы. — М.: Мир, 1988.
7. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. — М.: Наука, 1983.
8. Крюгер А. Солнечная радиоастрономия и радиофизика. — М.: Мир, 1984.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Назначение радиотелескопа	4
3. Характеристики и параметры антенны радиотелескопа	6
Задания к разделу 3	8
4. Поляризационные характеристики радиотелескопа. Матрица Мюллера, инструментальная поляризация	8
5. Описание 10-метрового радиотелескопа-поляриметра	10
5.1. Антенна	10
5.2. Радиополяриметр	11
6. Измерение диаграммы направленности	12
6.1. Методика измерений	12
6.2. Обработка полученных в измерениях данных. Определение ширины главного луча и коэффициента направленного действия	14
Задания к разделу 6	15
7. Измерение инструментальной линейной поляризации	15
Задание к разделу 7	17
8. Список рекомендованной литературы	17

**ВИНЯЙКИН Евгений Николаевич
РАЗИН Владимир Андреевич
ТЕПЛЫХ Анатолий Иванович**

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕЛЕСКОПА И
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПО РАДИОИЗЛУЧЕНИЮ
СОЛНЦА**

**Методическая разработка для магистрантов
радиофизического факультета ННГУ**

Подписано в печать 14.12.2000 г. Формат 60 × 84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 1,3 усл. п. л.
Тираж 50. Заказ 5504

Отпечатано в НИРФИ
Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25