

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**по дисциплине**

**«Практическая радиоастрономия»**

Направление подготовки: Астрофизика

Всего учебных часов: 72

Из них

Кол-во лекций: 28

Кол-во часов на самостоятельную работу: 20

Кол-во часов на лабораторные занятия: 12

Кол-во часов на практические занятия: 12

Нижний Архыз

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования для обучающихся в аспирантуре, утвержденных приказом Министерства образования и науки РФ от 16 марта 2011г. № 1365, рекомендациями Министерства образования и науки РФ от 22 июня 2011 г. N ИБ-733/12 о формировании основных образовательных программ послевузовского профессионального образования, программы-минимум кандидатского экзамена, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 08 октября 2007 г. № 274.

Автор: ведущий научный сотрудник, руководитель Группы изучения галактик и космологии, д.ф.-м.н. О.В. Верходанов

Программа одобрена на заседании ученого совета САО РАН от 22 декабря 2011г., протокол № 296.

## 1. Общие положения

Курс лекций "Практическая радиоастрономия" посвящен методам, предмету исследования и результатам радиоастрономии. Актуальность данного курса определяется существенным прорывом в современной наблюдательной астрофизике, обусловленным исследованиями на космических и наземных радиотелескопах, начиная с 1990-х гг. Так, результаты исследований реликтового излучения и пульсаров, принесших в сумме 4 Нобелевских премии, изменили наше понимание Природы.

В результате курса лекций аспирант познакомится с историей развития радиоастрономии, прослушает обзор о современных радиоастрономических методах исследования небесных объектов, узнает о принципах работы приемников радиоизлучения и радиотелескопов. Кроме того, аспирант познакомится с теорией механизмов радиоизлучения и исследованиями объектов, которые наблюдаются на радиотелескопах, в Солнечной системе, в нашей Галактике и за ее пределами. Основной упор в данном курсе делается на методах и результатах исследования внегалактических объектов: радиогалактик и квазаров, а также реликтовом излучении, изучение которых дает основополагающий вклад в современную космологию.

В результате освоения дисциплины аспирант должен знать методы наблюдения и анализа данных источников космического радиоизлучения, уметь пользоваться стандартными программами анализа данных с одиночных антенн и интерферометров, уметь обрабатывать результаты радионаблюдений внегалактических объектов и реликтового излучения. Аспирант должен знать принципы работы приемников радиоизлучения и радиотелескопов, уметь интерпретировать полученные результаты наблюдений в рамках современной физики, разбираться в природе объектов, излучающих в радиодиапазоне, и понимать общую картину эволюции Вселенной, основанную на наблюдательных и теоретических данных.

## 2. Структура и содержание дисциплины «Практическая радиоастрономия»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы контроля
		Л	ЛЗ	ПЗ	СР	

1.	<p>Радиотелескопы (отклик антенны на радиоизлучение, формирование изображения, преобразование Фурье, теоремы отсчетов). Параметры радиотелескопа (боковые лепестки, разрешение). Типы радиотелескопов (классификация, одиночные зеркала и интерферометры). Радиотелескопы широкого назначения. Антенна Карла Янского. Антенна Гроута Ребера. Интерферометр Мартина Райла. Кембриджский интерферометр. Одномильный радиотелескоп Мартина Райла. Радиотелескоп Энтони Хьюиша. Интерферометр им. Мартина Райла.</p> <p>Радиотелескоп ПАТАН-600. Большая антенная решетка (Very Large Array - VLA, США). Радиотелескоп в Аресибо. Вестерборкский радиотелескоп. Телескоп в Грин Бэнке. Низкочастотная решетка LOFAR. Атакамская большая миллиметровая/субмиллиметровая решетка (ALMA). Интерферометр площадью 1 км<sup>2</sup>(SKA).</p> <p>Специализированные радиотелескопы для исследования реликтового излучения. Антенна Пензиаса и Вильсона. Спутник COBE. Интерферометр DASI (Degree Angular Scale Interferometer). Интерферометр CBI (Cosmic Background Imager). Баллонный инструмент BOOMERanG. Баллонный инструмент MAXIMA. Атакамский космологический телескоп. Южный полярный телескоп. Космическая миссия WMAP. Космическая миссия Planck.</p>	2				
2.	Интерферометрический синтез в радиоастрономии. Простейший интерферометр. Восстановление изображений. Алгоритм CLEAN. Метод максимальной энтропии.	2	2		2	
3.	Приемники радиоизлучения. Основные схемы радиометров. Шумовая температура и чувствительность радиометров	2	2			
4.	Наблюдения в непрерывном радиоспектре. Радиоизлучение атмосферы. Обработка данных и их интерпретация.	2	2	4	6	зачет
5.	Солнечная радиоастрономия (солнечная активность, солнечный ветер, фотосфера, хромосфера, корона)	2				
6.	Радиоизлучение Луны и планет.	2				

7.	Радиогалактики и квазары. Исследования радиогалактик в России. Ярчайшие радиогалактики (Лебедь А, Центавр А, Дева А, Печь А, Персей А, Геркулес А, Гидра А, Живописец А) 11.3. Основные каталоги радиоисточников. Базы данных радиоисточников (CATS, NED, SINBAD). Феноменология радиогалактик. Механизмы излучения и радиоспектры галактик. Морфологические особенности радиогалактик (Ядро, Протяженные структуры, Джеты, Горячие пятна). Классификация радиогалактик (морфологическая, спектральная). Центральная машина радиогалактик и феномен сверхмассивных ЧД. Объединенная модель (квазары и радиогалактики). Эволюция оптического и радиоизлучения радиогалактик. Космологическая эволюция населения радиогалактик/квазаров. Поиск далеких радиогалактик (селекция объектов, отождествление, спектральный индекса). Целевые обзоры по исследованию радиогалактик (3CRR, поздние Кэмбриджские обзоры, голландские исследования). Программа "Большое Трио"(Радиогалактика RC0311+04 на красном смещении $z=4.514$ )	4	2	4	4	зачет
8.	Космологические тесты для радиоисточников и оценка параметров моделей. Подсчеты радиоисточников. Соотношение $K-z$ для радиогалактик. Скучивание радиоисточников. Размер радиогалактик. Гравитационное линзирование. Возраст радиогалактик. Иерархическая модель и проблема роста сверхмассивных черных дыр. Эффект Сюняева-Зельдовича. Эффект Сакса-Вольфа. Гало скоплений галактик и поиск темной материи (нейтралито)	2				
9.	Проблемы удаления радиоисточников в данных реликтового излучения	2			2	
10.	Современная космологическая модель. Расширяющаяся Вселенная. Фундаментальные наблюдательные данные (реликтовое излучение, распределение видимой материи, стандартные свечи, легкие элементы). Состав Вселенной. Космологическая модель и ее параметры. Этапы эволюции Вселенной: очень ранняя Вселенная, ранняя Вселенная, эпоха доминирования материи, эпоха доминирования темной энергии и др. Инфляция. Другие космологические модели	4				

11.	Реликтовое излучение. Рекомбинация водорода. Искажение спектра РИ в ходе рекомбинации. Реионизация водорода. Типы начальных возмущений (скалярные, векторные и тензорные моды). Сахаровские модуляции спектра возмущений плотности. Первичная анизотропия (эффекты Сакса-Вольфа, Силка и Доплера). Вторичная анизотропия (тепловой и кинематический эффекты Сюняева-Зельдовича, эффект реионизации). Зависимость углового спектра мощности $C(l)$ от параметров космологической модели. Анализ данных микроволнового фона. Наблюдения. Разделение компонент. Гармонический анализ на сфере (пикселизация, монополь, диполь, квадруполь, октуполь и более высокие гармоники). Угловой спектр мощности и статистика сигнала. Базы данных карт протяженного излучения (архивы WMAP и Planck, виртуальный телескоп SkyView). Проблемы и поиск негауссовости распределения сигнала. Первичная негауссовость. Вторичная негауссовость. Статистическая анизотропия (проблемы: Ось Зла, Холодное Пятно, асимметрия распределения сигнала РИ на полусферах). Основные тесты на гауссовость (биспектр, функционалы Минковского, фазовый анализ, сферические вейвлеты).	4	4	4	6	зачет
<b>Баланс времени</b>		<b>28</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>72</b>

### 3. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости Текущий контроль осуществляется по результатам работы на лабораторных занятиях. Промежуточный контроль – быстрый опрос на лекциях. Итоговый контроль – зачет.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### «Наблюдательная радиоастрономия»

1. Какая классификация радиотелескопов существует?
2. Каков принцип действия радиоинтерферометра?
3. Чем определяется диапазон принимаемых волн и разрешение радиотелескопа?
4. Что такое «крутой радиоспектр» радиоисточника?
5. Какая классификация радиоисточников существует?
6. С какими оптическими объектами отождествляются радиоисточники?
7. Почему далекие радиогалактики могут помочь в поиске протоскоплений?
8. Какие факторы уменьшают вероятность правильного отождествления радиоисточников с оптическими кандидатами?
9. Компоненты плотности Вселенной и текущая космологическая модель, ее наблюдательная основа.
10. Что такое спектр мощности карты излучения?

11. Какое количество пятен на сфере образует мультиполь с номером  $l$ ?
12. На каких мультиполях вклад точечных источников в спектр мощности становится существенным?
13. Почему при вычитании дипольной компоненты не меняется остальной спектр?
14. Сколько пиков на спектре мощности CMB в модели Вселенной  $\Lambda$ CDM до  $l < 1000$ ?

#### **4. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Наблюдательная радиоастрономия»**

##### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н., Радиотелескопы и радиометры (М.: Наука, 1973).
2. Верховданов О.В., Парийский Ю.Н., Радиогалактики и космология, (М.:Физмалит, 2009).
3. Насельский П.Д., Новиков Д.И., Новиков И.Д., Реликтовое излучение (Изд-во Наука, 2003).
4. Горбунов Д.С., Рубаков В.А., Введение в теорию ранней Вселенной:3. Космологические возмущения. Инфляционная теория. (М.:КРАСАНД, 2010).
5. Галактическая и внегалактическая радиоастрономия, под ред. Верскера и Келлермана. (Изд-во Мир, 1976) Разделы ``Радиогалактики и квазары" и "Космология".
6. Лукаш В.Н., Михеева Е.В., Физическая космология. (М.:ФизМатЛит, 2010).
7. Физика космоса. ``Советская энциклопедия". (Москва, 1986). Разделы ``Радиогалактики" и ``Квазары".
8. Коллектив авторов. `Наблюдательная и теоретическая космология", Труды Летней школы Фонда Дмитрия Зимина «Династи» (7-ой Школы современной астрофизики, САО РАН, Нижний Архыз, 2011) (М.:URSS, 2012), с.381-392.
9. Парийский Ю.Н., Корольков Д.В. 1986. Эксперимент «Холод». Первый глубокий обзор неба с помощью радиотелескопа РАТАН-600. В сб. ``Итоги науки и техники". Астрономия. Т.31. Москва. ВИНТИ. 73-197.

##### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Разнообразные статьи по теме из журналов MNRAS, AA, ApJ, AJ, Астрофиз.Бюл., ПАЖ, АЖ, УФН, Phys. Rev. D, JCAP
2. Разнообразные препринты статьи по теме из базы данных статей arXiv.org.

##### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ**

Интернет, базы данных CATS, DSS, SDSS, компьютер с ОС Linux, система анализа континуальных данных РАТАН-600 FADPS, пакет анализа данных реликтового излучения GLESP.