

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ И ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
МГУ
_____ / Н.Н. Сысоев /
«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

РАДИОАСТРОНОМИЯ

Уровень высшего образования:

Специалитет

Направление подготовки:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль) ОПОП:

Общая специальность

Квалификация «Специалист»

Форма обучения: Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол № _____, _____)

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

Д.ф.-м.н. зав. отделом Рудницкий Георгий Михайлович, отдел радиоастрономии
ГАИШ МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Радиоастрономия»

Основная цель курса – последовательно изложить теоретические основы, результаты астрономических наблюдений в радиодиапазоне и их интерпретацию.

Вводная лекция дает исторический обзор возникновения и развития радиоастрономии как одной из важнейших отраслей астрономической науки.

В курсе содержатся базовые теоретические знания о механизмах генерации радиоизлучения в космических условиях: тормозной, магнитотормозной, синхротронный, плазменный.

Рассмотрены приложения теории электромагнитного излучения к интерпретации данных радиоастрономических наблюдений.

Излагаются данные исследования Солнца в радиодиапазоне на различных длинах волн, в том числе излучение спокойного Солнца и активных областей, радиовсплески, связанные с солнечными вспышками.

Представлены данные о собственном радиоизлучении планет Солнечной системы, как тепловом, так и нетепловом. Даны основы радиолокационных исследований тел Солнечной системы.

Основное внимание уделяется результатам исследований Галактики в непрерывном радиоспектре и в спектральных линиях (21 см нейтрального водорода и линии молекул), в том числе фоновому радиоизлучению Галактики и дискретным радиоисточникам (остатки вспышек сверхновых, радиопульсары, космические мазеры, «радиозвезды»).

В разделе о внегалактической радиоастрономии рассмотрено радиоизлучение нормальных галактик, радиогалактик, квазаров, связь радиоастрономии с космологией, подсчеты радиоисточников как тесты космологической модели, микроволновое реликтовое радиоизлучение.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Радиоастрономия» реализуется на 5-ом курсе в 10-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Общая астрономия», «Общая астрофизика», «Теоретическая астрофизика».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	<p>З-1 Знать: основные свойства излучения небесных тел в радиодиапазоне и процессы, дающие это излучение</p> <p>З-2 Знать: основные понятия математической обработки радиоастрономических наблюдений</p> <p>У-1 Уметь: строить модели небесных объектов посредством анализа данных по их излучению в радиодиапазоне</p> <p>У-2 Уметь: планировать и проводить радиоастрономические наблюдения, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в результате наблюдений в радиодиапазоне</p> <p>В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым при астрофизических исследованиях и радиоастрономии</p> <p>В-2 Владеть: методами теоретического исследования явлений и процессов, происходящих в небесных телах</p>
ОПК-1.Б	<p>З-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении задач астрофизики, связанных с излучением в радиодиапазоне</p> <p>У-1 Уметь: решать типовые задачи астрофизики, связанные с излучением в радиодиапазоне</p> <p>У-2 Уметь: строить математические модели явлений и процессов, ответственных за излучение небесных тел в радиодиапазоне</p> <p>В-1 Владеть: навыками проведения радиоастрономических наблюдений и обработки их результатов</p>

4. **Форма обучения:** очная.

5. **Язык обучения:** русский.

6. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение. История радиоастрономических исследований. Обзор методов радиоастрономических наблюдений. Крупные радиотелескопы и радиоинтерферометры. Повторение основных сведений из астрофизики. Фотометрические величины. Взаимодействие излучения с веществом. Уравнение переноса и его решение. Формирование спектра.

Тема 2. Механизмы радиоизлучения в астрофизических условиях. Тормозное излучение ионизованного газа. Магнитотормозное излучение. Синхротронное излучение. Излучение кривизны. Циклотронный мазер. Генерация радиоизлучения плазменными колебаниями. Распространение радиоволн в плазме. Показатель преломления, фазовая и групповая скорости. Вращение плоскости поляризации в замагниченной плазме. Дисперсия радиоволн. Излучение в спектральных линиях атомов и молекул. Молекулярное мазерное излучение.

Тема 3. Солнце. Радиоизлучение спокойного Солнца. Тепловое излучение короны и хромосферы на разных длинах волн. Преломление радиоволн. Медленно меняющийся компонент радиоизлучения Солнца. Корональные конденсации. Типы радиоизлучения возмущенного Солнца. Радиоизлучение, связанное с солнечными вспышками. Микроволновые всплески. Генерация радиоволн потоком частиц, проходящих через корону, и ударными фронтами. Шумовые бури.

Тема 4. Солнечная система. Радиоизлучение Луны, теория и результаты. Радиоизлучение планет и комет. Радиолокация Луны, планет и комет. Метеорная радиоастрономия.

Тема 5. Галактика. Синхротронное радиоизлучение Галактики. Данные о космических лучах в Галактике. Механизмы ускорения космических лучей. Гало Галактики. Излучение межзвездного нейтрального водорода. Спиральная структура Галактики по наблюдениям линии 21 см. Поле скоростей газа в Галактике. Кинематический метод определения расстояний в Галактике. Поглощение в линии 21 см. Холодные водородные облака и горячая межоблачная среда.

Зоны НН. Радиоизлучение в непрерывном спектре, рекомбинационные радиолнии. Основные сведения о молекулярных спектрах. Излучение межзвездных молекул в радиодиапазоне. Линии поглощения молекул. Гигантские молекулярные облака, их связь с комплексами звездообразования в Галактике. Молекулярные космические мазеры в областях звездообразования и в оболочках звезд поздних спектральных классов. Механизмы образования молекул.

«Радиозвезды». Радиоизлучение звезд ранних спектральных классов с ионизованными оболочками. Радиоизлучение при вспышках новых и сверхновых. Радиоизлучение звезд типа UV Кита, RS Гончих Псов и тесных двойных систем.

Остатки вспышек сверхновых.

Пульсары.

Тема 6. Внегалактическая радиоастрономия. Радиоизлучение нормальных галактик (в континууме и в радиолниях). Радиогалактики. Квазизвездные радиоисточники.

Тема 7. Радиоастрономия и космология. Статистические подсчеты радиоисточников. Зависимость $\log N - \log S$.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Механика	2	72	36	36	0	36

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Радиоастрономия» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Введение	8	4	-	-	4	Собеседование, опрос
2	Механизмы радиоизлучения в астрофизических условиях	12	6	-	-	6	
3	Солнце	12	6	-	-	6	
4	Солнечная система	4	2	-	-	2	
5	Галактика	22	12	-	-	10	
6	Внегалактическая радиоастрономия	4	2	-	-	2	

7	Радиоастрономия и космология	4	2	-	-	2	
	Промежуточная аттестация	6				6	Зачет в форме собеседования
ИТОГО:		72	34	-	0	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Радиоастрономия» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Механика» проводится в десятом семестре в форме зачета и экзамена. Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи зачёта оцениваются по шкале «зачет», «незачет». Оценка «зачет» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования
---------------	--	---

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	незачет	зачет		
ЗНАТЬ: основные свойства излучения небесных тел в радиодиапазоне и процессы, дающие это излучение УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний основных свойств излучения небесных тел в радиодиапазоне и процессов, дающих это излучение	В целом успешные, но не систематически знания основных свойств излучения небесных тел в радиодиапазоне и процессов, дающих это излучение	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основных свойств излучения небесных тел в радиодиапазоне и процессов, дающих это излучение	Успешные и систематические знания основных свойств излучения небесных тел в радиодиапазоне и процессов, дающих это излучение
ЗНАТЬ: основные понятия математической обработки радиоастрономических наблюдений УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки радиоастрономических наблюдений	В целом успешное, но не систематическое знание основных понятий математической обработки радиоастрономических наблюдений	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий математической обработки радиоастрономических наблюдений	Успешное и систематическое знание основных понятий математической обработки радиоастрономических наблюдений
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач астрофизики, связанных с излучением в радиодиапазоне	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, используемых при решении задач астрофизики, связанных с	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, используемых при решении задач астрофизики,	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основных математических методов, используемых при решении	Успешное и систематическое знание основных математических методов, используемых при решении задач астрофизики, связанных с излучением в радиодиапазоне

ОПК-1.Б 3-1	излучением в радиодиапазоне	связанных с излучением в радиодиапазоне	задач астрофизики, связанных с излучением в радиодиапазоне	
УМЕТЬ: строить модели небесных объектов посредством анализа данных по их излучению в радиодиапазоне УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить модели небесных объектов посредством анализа данных по их излучению в радиодиапазоне	В целом успешное, но не систематическое умение строить модели небесных объектов посредством анализа данных по их излучению в радиодиапазоне	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить модели небесных объектов посредством анализа данных по их излучению в радиодиапазоне	Успешное и систематическое умение строить модели небесных объектов посредством анализа данных по их излучению в радиодиапазоне
УМЕТЬ: планировать и проводить радиоастрономические наблюдения, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в результате наблюдений в радиодиапазоне УК-1.Б У-2	Отсутствие умения планировать и проводить радиоастрономические наблюдения, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в результате наблюдений в радиодиапазоне	В целом успешное, но не систематическое умение планировать и проводить радиоастрономические наблюдения, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в результате наблюдений в радиодиапазоне	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение планировать и проводить радиоастрономические наблюдения, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в результате наблюдений в радиодиапазоне	Успешное и систематическое умение планировать и проводить радиоастрономические наблюдения, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в результате наблюдений в радиодиапазоне
УМЕТЬ: решать типовые задачи	Отсутствие умения решать типовые задачи астрофизики,	В целом успешное, но не систематическое	В целом успешно, но содержащее	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи

астрофизики, связанные с излучением в радиодиапазоне ОПК-1.Б У-1	связанные с излучением в радиодиапазоне	е умение решать типовые задачи астрофизики, связанные с излучением в радиодиапазоне	отдельные пробелы умение решать типовые задачи астрофизики, связанные с излучением в радиодиапазоне	астрофизики, связанные с излучением в радиодиапазоне
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов, ответственных за излучение небесных тел в радиодиапазоне ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели явлений и процессов, ответственных за излучение небесных тел в радиодиапазоне	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели явлений и процессов, ответственных за излучение небесных тел в радиодиапазоне	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели явлений и процессов, ответственных за излучение небесных тел в радиодиапазоне	Успешное и систематическое умение строить математические модели явлений и процессов, ответственных за излучение небесных тел в радиодиапазоне
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым при астрофизических исследованиях и радиоастрономии УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым при астрофизических исследованиях и радиоастрономии	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым при астрофизических исследованиях и радиоастрономии	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым при астрофизических исследованиях и радиоастрономии	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым при астрофизических исследованиях и радиоастрономии
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов, происходящих в небесных телах	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов, происходящих в небесных телах	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов,	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов, происходящих в небесных телах

УК-1.Б В-2		происходящих в небесных телах	явлений и процессов, происходящих в небесных телах	
ВЛАДЕТЬ: навыками проведения радиоастрономических наблюдений и обработки их результатов ОПК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение навыками проведения радиоастрономических наблюдений и обработки их результатов	В целом успешное, но не систематическое владение навыками проведения радиоастрономических наблюдений и обработки их результатов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение навыками проведения радиоастрономических наблюдений и обработки их результатов	Успешное и систематическое владение навыками проведения радиоастрономических наблюдений и обработки их результатов

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти в учебнике Уилсона Т.Л., Рольфа К. и Хюттемейстера С. «Инструменты и методы радиоастрономии»

Пример: Предположим, вы хотите обнаружить пульсар, расположенный в центре нашей Галактики. Пульсар может находиться позади облака ионизованного газа с размером 10 пк и электронной плотностью 10^3 см^{-3} . Вычислите меру дисперсии DM. Каков предел на полосу, если частота наблюдений равна 1 ГГц и пульсар вращается с частотой 30 Гц?

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету передаются обучающимся

Пример: Поляриметрия. Состояния поляризации. Случай монохроматической и квазимонохроматической волны. Параметры Стокса. Сфера Пуанкаре. Степень поляризации.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. Рудницкий Г.М. Конспект лекций по курсу «Радиоастрономия». – Нижний Архыз: Компьютерный информационно-издательский центр «CYGNUS», 2001 – 208 с.
2. Уилсон Т.Л., Рольфс К., Хюттемейстер С. Инструменты и методы радиоастрономии / Пер. с англ. под ред. д. ф.-м. н. С.А. Трушкина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 – 568 с.

3. Томпсон А.Р., Моран Д.М., Свенсон Д.У. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии / Пер. с англ. под ред. д. ф.-м. н. Л.И. Матвеевко – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003 – 624 с.

Дополнительная литература.

1. Засов А.В., Постнов К.В. Общая астрофизика. 2-е изд. испр. и доп. – Фрязино: Век-2, 2011. – 576 с
2. Попов А.М., Тихонова О.В. Атомная физика: учебное пособие – М.: Нобель-Пресс. 2014.– 364 с.

Интернет-ресурсы.

1. <http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Rudnickij/index.htm>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.