

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный универ-  
ситет  
им. Н.И. Лобачевского»

Радиофизический факультет  
(факультет / институт / филиал)

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**

Введение в радиоастрономию  
(наименование дисциплины (модуля))

---

Уровень высшего образования  
магистратура  
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.03 Радиофизика

---

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Электромагнитные волны в средах  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

---

Форма обучения

очная

---

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.02 "Введение в радиоастрономию" относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
<b>ПК-1:</b> <i>Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности</i>	<b>ПК-1.1.</b> Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач.	<i>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности</i> <i>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</i> <i>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</i>	Собеседование
	<b>ПК-1.2.</b> Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.	<i>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</i> <i>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема</i> <i>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</i>	Собеседование
<b>ПК-2:</b> <i>Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских</i>	<b>ПК-2.1.</b> Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.	<i>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</i> <i>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области</i>	Собеседование

работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты		физики и радиофизики Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики	
	ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.	Знать: современные подходы к моделированию различных явлений Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи	Собеседование
	ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.	Знать: основные принципы организации научного исследования Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	Собеседование
	ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи	Собеседование
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и	ПК-3.1. Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.	Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях Владеть: навыками со-	Собеседование

опытно-конструкторских разработок		ставления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций	
	ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом	Собеседование
	ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.	Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР	Собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины «Ведение в радиоастрономию»

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа ( практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>КСР</b>	<b>2</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>45</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе													
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них									Самостоятельная работа обучающегося, часы				
	Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Всего							
Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное
1. Общие сведения. Предмет радиоастрономии. История зарождения радиоастрономии. Первые открытия в радиоастрономии. Радиоастрономия в нашей стране и в Нижнем Новгороде (ранее Горьком). Место радиоастрономии в современной всеволновой астрономии и радиофизике. Радиоастрономия и астрофизика. Космические объекты как уникальные природные физические лаборатории.	13			4								4			9		
2 Радиотелескоп как инструмент наблюдательной радиоастрономии.				6									6			13	

<p>Типы антенн, применяющихся в радиоастрономии. Диаграмма направленности антенны по полю и по мощности. Ширина главного луча и телесный угол диаграммы направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент рассеяния. Антенна как фильтр пространственных частот. Пространственная частотная характеристика антенны и ее связь с распределением комплексной амплитуды поля на раскрыве антенны. Угловое разрешение. Основные типы радиометров. Связь диаграммы направленности по полю с распределением комплексной амплитуды поля на раскрыве антенны. Теоремы подобия, смещения, свертки и решетки в радиоастрономии.</p>																		
<p><b>3. Получение изображения в радиоастрономии. Радиотелескоп и радиоизображение.</b></p> <p>Радиояркостьная температура небосвода. Эффективная температура космического ис-</p>	19			6							6				13			

точника. Антенная температура и ее связь с распределением радиояркой температуры по источнику и диаграммой направленности антенны. Эффективная площадь радиотелескопа. Антенная температура радиотелескопа от радиоизлучения дискретного источника. Получение изображения протяженного источника путем его сканирования радиотелескопом. Спектр пространственных частот углового распределения радиояркости по источнику. Двухэлементный аддитивный и мультипликативный интерферометр. Системы апертурного синтеза в том числе на основе радиоинтерферометрии с независимым приемом. Измерение спектра пространственных частот источника путем последовательного или параллельного апертурного синтеза. Восстановление радиоизображения источника по спектру его пространственных частот. Сопоставление двух способов получения радиоизоб-																			
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ражения в радиоастрономии. Радиофизические аналогии. Поляриметрические наблюдения в радиоастрономии. Параметры Стокса. Вектор Джонса. Сфера Пуанкаре. Матрица Мюллера радиотелескопа.																	
<b>4. Чувствительность радиотелескопа и влияние атмосферы на радиоастрономические наблюдения.</b> Шумовая температура радиотелескопа и ее составляющие. Радиоизлучение земной поверхности. Коэффициенты Френеля. Влияние тропосферы и ионосферы на радиоастрономические наблюдения. Поглощение, рефракция, фарадеевское вращение, мерцания, рассеяние. Эффект путаницы в радиоастрономии. Определение чувствительности радиотелескопа.	<b>13</b>		4								4			9			
<b>5 Радиоизлучение солнца и планет.</b> Основные сведения о Солнце. Радиоизлучение спокойного Солнца. Радио-	<b>14</b>		4								4			10			



излучение активного Солнца. Солнечно-земные связи. Основные сведения о телах Солнечной системы. Радиоизлучение планет, их спутников и малых тел Солнечной системы. Соотношение космических исследований тел Солнечной системы с их радиоастрономическими исследованиями.																	
<b>6 Радиоизлучение галактических объектов. диффузное радиоизлучение Галактики</b>  Основные сведения о Галактике и её объектах. Синхротронное радиоизлучение в радиоастрономии. Поглощение, фарадеевское вращение, деполяризация и рассеяние в межзвездной среде Галактики. Спектр, угловое распределение и линейная поляризация диффузного галактического радиоизлучения. Магнитное поле Галактики. Радиоизлучение остатков сверхновых и его эволюция. Радиоизлучение пульсаров. Радиоизлучение областей ионизованного водорода. Радиоизлучение звезд.	14		4								4			10			

Радиоизлучение Галактики и ее объектов в спектральных линиях. Мазерное излучение галактических объектов. Понятие об астрохимии.																	
<b>7. Радиоизлучение внегалактических объектов.</b> Основные сведения о галактиках и квазарах. Радиоизлучение нормальных галактик. Радиоизлучение активных галактик и квазаров. Радиосверхновые. Радиоизлучение, сопровождающее мощные всплески гамма-излучения. Внегалактические мазеры. Радиоизлучение Вселенной в целом (реликтовое излучение). Эволюция Вселенной.	<b>14</b>		4								4			10			
В т.ч. текущий контроль	2		2								2			-			
Промежуточная аттестация - Экзамен																	

В рамках лекционных занятий организуются практикумы (семинары), в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение практических заданий и задач, организация семинаров по отдельным разделам дисциплины.

На проведение занятий в форме практической подготовки отводится 4 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

- изучение, анализ научно-технической информации, обобщение отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- аналитическое и численное исследование физических явлений и процессов радиофизическими методами;
- разработка новых комплексов программ по численному моделированию объектов

различной физической природы;

- планирование и проведение экспериментов с применением современных методов и измерительной аппаратуры (акустической, радиоэлектронной, оптоэлектронной);
  - формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;
  - совершенствование известных и разработка новых методов исследований;
  - анализ получаемых результатов и, при необходимости, корректировка направлений исследований;
  - подготовка и оформление научных статей;
  - составление отчетов и докладов о научно-исследовательской работе;
  - участие в научных конференциях, в том числе международных
  - руководство научной работой обучающихся
- компетенций – ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лекционного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Используются следующие виды самостоятельной работы студента с книгами, учебниками и конспектами лекций: в читальном зале библиотеки, компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий путём краткого опроса по предыдущему материалу и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического мате-	Уровень знаний ниже минимальных требова-	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе под-	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подго-

	риала.  Невозмож- ность оце- нить пол- ноту зна- ний вслед- ствие отка- за обучаю- щегося от ответа	ний. Имели место гру- бые ошиб- ки.	негрубых ошибки.	щем про- грамме подго- товки. Допуще- но не- сколько негрубых ошибок	программе подготов- ки. Допу- щено не- сколько несущес- ственных ошибок	готовки, без ошибок.	товки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минималь- ных уме- ний . Не- возмож- ность оце- нить нали- чие умений вследствие отказа обу- чающегося от ответа	При реше- нии стан- дартных задач не продемон- стрированы основные умения.  Имели ме- сто грубые ошибки.	Продемон- стрированы основные умения. Ре- шены типо- вые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в пол- ном объеме.	Продемон- стрированы все осн- овные умения. Ре- шены все ос- новные задачи с негрубыми ошибками. Выпол- нены все задания, в полном объеме, но неко- торые с недочече- тами.	Продемон- стрированы все осн- овные умения. Ре- шены все ос- новные задачи . Выполнены все зада- ния, в пол- ном объе- ме, но не- которые с недочече- тами.	Продемон- стрированы все основные уме- ния, решены все основные задачи с от- дельными несущес- ственным недочетами, выполнены все задания в полном объ- еме.	Продемонстри- рованы все ос- новные умения,. Решены все ос- новные задачи. Выполнены все задания, в пол- ном  объеме без недо- четов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Не- возмож- ность оце- нить нали- чие навы- ков вслед- ствие отка- за обучаю- щегося от ответа	При реше- нии стан- дартных задач не продемон- стрированы базовые навыки.  Имели ме- сто грубые ошибки.	Имеется ми- нимальный  набор навы- ков для ре- шения стан- дартных за- дач с некото- рыми недо- четами	Продемон- стрированы базовые навыки  при ре- шении стандарт- ных задач с некото- рыми недочече- тами	Продемон- стрированы базовые навыки  при реше- нии стан- дартных задач без ошибок и недочетов.	Продемон- стрированы навыки  при решении нестандарт- ных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстри- рован творче- ский подход к решению не- стандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, уме-

		ния, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. История зарождения радиоастрономии. Первые открытия в радиоастрономии.	ПК-1
2. Взаимосвязь радиоастрономии со всеволновой астрономией, астрофизикой и радиофизикой.	ПК-1
3. Типы антенн, применяющихся в радиоастрономии.	ПК-1
4. Основные типы радиометров в радиоастрономии.	ПК-1
5. Диаграмма направленности антенны. Параметры антенны, связанные с диаграммой направленности.	ПК-1
6. Связь диаграммы направленности антенны с распределением комплексной амплитуды электрического поля по апертуре.	ПК-1
7. Радиояркость температура небосвода.	ПК-1
8. Антенная температура.	ПК-1
9. Антенна как фильтр пространственных частот. Пространственная частотная характеристика и ее связь с распределением комплексной амплитуды электрического поля по апертуре. Угловое разрешение.	ПК-1
10. Радиотелескоп и радиоизображение. Два способа получения изображения в радиоастрономии.	ПК-1

11. Двухэлементный аддитивный и мультипликативный интерферометр.	ПК-1
12. Параметры Стокса. Вектор Джонса. Сфера Пуанкаре.	ПК-1
13. Поляриметрические наблюдения в радиоастрономии..	ПК-1
14. Матрица Мюллера радиотелескопа. Инструментальная поляризация.	ПК-1
15. Шумовая температура радиотелескопа и ее составляющие.	ПК-1
16. Чувствительность радиотелескопа.	ПК-1
17. Влияние атмосферы Земли на радиоастрономические наблюдения.	ПК-1
18. Радиоизлучение спокойного Солнца.	ПК-2
19. Радиоизлучение активного Солнца.	ПК-2
20. Радиоизлучение планет без атмосферы и Луны.	ПК-2
21. Основные соотношения в механизме синхротронного космического радиоизлучения.	ПК-2
22. Частотный спектр, угловое распределение и линейная поляризация диффузного радиоизлучения Галактики.	ПК-2
23. Радиоизлучение остатков сверхновых и его эволюция.	ПК-2
24. Радиоизлучение областей ионизированного водорода.	ПК-2
25. Источники мазерного излучения в Галактике.	ПК-2
26. Радиоизлучение нормальных галактик..	ПК-2
27. Радиоизлучение активных галактик и квазаров..	ПК-2
28. Радиосверхновые.	ПК-2
29. Реликтовое радиоизлучение Вселенной.	ПК-2

### **5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1**

#### **Задача 1.**

Вычислить плазменную частоту в межзвёздной среде, в области НП ионизованного водорода при известных значениях электронной концентрации и сравнить её со значениями плазменной частоты в ионосфере.

### **5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2**

#### **Задача 1**

Выписать выражения для векторов Стокса полностью поляризованного радиоизлучения для случаев вертикальной линейной поляризации, горизонтальной линейной поляризации, правой круговой поляризации, левой круговой поляризации.

#### **5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3**

Оформить отчет по итогам выполнения экзаменационного задания.

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

а) основная литература:

1. Кисляков А. Г., Разин В. А., Цейтлин Н. М. - Введение в радиоастрономию. Ч. 1. - Н. Новгород, 1995. - 212 с.
2. Кисляков А. Г., Разин В. А., Цейтлин Н. М. - Введение в радиоастрономию. Ч. 2., 1996. - 196 с.
3. Железняков В. В. - Излучение в астрофизической плазме. - М.: Янус-К, 1997. - 528 с.
4. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. - Курс общей астрономии: учебник для вузов. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. - 560 с.

б) дополнительная литература:

1. Краус Д. Д - Радиоастрономия. - М.: Советское радио, 1973. - 456 с.
2. Христиансен У., Хёгбом И - Радиотелескопы. - М.: Мир, 1988. – 303 с.
3. Крюгер А. - Солнечная радиоастрономия и радиофизика: введение. - М.: Мир, 1984. - 469 с.
4. Рузмайкин А. А., Соколов Д. Д., Шукуров А. М. - Магнитные поля галактик. - М.: Наука, 1988. - 278, [1] с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.asc.rssi.ru/radioastron/>
2. <http://www.sao.ru/>

Программное обеспечение:

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Acrobat Professional 11.0 (номера лицензий: 65195558, 6 шт.)
3. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):  
<http://e.lanbook.com/>;  
<http://www.biblioclub.ru>.

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.**

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы де-монстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования РФ 07.08.2020 № 918).

Автор: д.т.н., с.н.с. Калинин А.В.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Кудрин А.В.

Заведующий кафедрой: д.т.н., с.н.с. Калинин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.