

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

(факультет / институт / филиал)

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

**Рабочая программа дисциплины**

**Возмущение ионосферы мощными  
радиоволнами**

(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)

Нижегород  
2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.09.02 "Возмущение ионосферы мощными радиоволнами" 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>	ПК-1.1. 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
	ПК-1.2. 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 работ в области физики и радиофизики и оформлять их</i>	ПК-2.1. 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 физики и радиофизики</i> <i>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и</i>	Собеседование

результаты		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 опытно-конструкторских	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 составления и оформления научно-технической	Собеседование

разработок		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 «Возмущение ионосферы мощными радиоволнами»

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<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	32
- занятия семинарского типа	
( практические занятия / лабораторные работы)	
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>КСР</b>	<b>1</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	<b>-</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. Введение.	21			8									8			13		
2. Физические процессы, приводящие к возбуждению искусственной ионосферной турбулентности (ИИТ) в верхней ионосфере.	30			8									8			22		
3. Экспериментальны ые исследования и физические модели наблюдаемых свойств ИИТ	32			8									8			24		
4. Тепловые нелинейные эффекты в нижней ионосфере.	24			8									8			16		
В т.ч.текущий контроль	1			1									1			-		
Промежуточная аттестация - Зачет																		

### Содержание разделов дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия
1	Введение.	Структура ионосферы. Нормальные волны в магнитоактивной плазме. Поляризация волн. распространение КВ радиоволн при их падении на ионосферу. Отражение волн. Вертикальное зондирование ионосферы. Линейная трансформация волн, утраивание сигналов. Продольные (квазиэлектро-статические волны. Особенности дисперсионных свойств продольных волн вблизи кратных гирорезонансов и в области двойного резонанса в однородной плазме и неоднородной ионосфере. Физическая природа нелинейных явлений в плазме: тепловая и стрикционная нелинейности. Краткая характеристика существующих установок по экспериментальному исследованию взаимодействия	Лекции

		мощных радиоволн с ионосферой.	
2	<b>Физические процессы, приводящие к возбуждению искусственной ионосферной турбулентности (ИИТ) в верхней ионосфере.</b>	Общая характеристика искусственной ионосферной турбулентности F-области ионосферы. Стрикционная параметрическая неустойчивость вблизи точки отражения волны накачки. Возбуждение ленгмюровской турбулентности. Тепловая параметрическая неустойчивость в области верхнего гибридного резонанса волны накачки. Образование мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности, вытянутых вдоль геомагнитного поля. Самофокусировка мощных радиоволн и крупномасштабные неоднородности. Ускорение электронов продольными волнами. Генерация оптического свечения и ионизация ионосферной плазмы.	Лекции
3	<b>Экспериментальные исследования и физические модели наблюдаемых свойств ИИТ</b>	Поведение отраженного от ионосферы сигнала мощной волны: стрикционное самовоздействие, «пички», аномальное ослабление. Ракурсное рассеяние радиоволн. Просвечивание ионосферы радиосигналами ИСЗ. Искусственное радиоизлучение ионосферы (ИРИ). Спектральный состав ИРИ. Связь ИРИ с ИИТ. Двойная трансформация на неоднородностях как механизм генерации ИРИ. Демонстрация перекачки плазменных волн по спектру с помощью ИРИ. Искусственное оптическое свечение ионосферы. Многочастотное доплеровское зондирование ионосферы. Вытеснение плазмы из областей локализации плазменных волн. Дополнительная ионизация ионосферной плазмы и создание искусственных отражающих слоев.	Лекции
4	<b>Тепловые нелинейные эффекты в нижней ионосфере.</b>	Искусственные периодические неоднородности в поле стоячей волны в ионосфере. Диагностика ионосферы с помощью ИПН. Модуляции ионосферных токов мощным радиоизлучением. Эффект Гетманцева. Нарушение ионизационно-рекомбинационного баланса в нижней ионосфере за счет нагрева и образование дефокусирующей линзы.	Лекции

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 виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), 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 и в конце курса при проведении зачета 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 материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных 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, умения, 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. Нормальные волны в магнитоактивной плазме. Поляризация волн. Распространение КВ радиоволн при их падении на ионосферу.	ПК-1
2. Продольные (квазипотенциальные) волны. Особенности дисперсионных свойств продольных волн вблизи кратных гирорезонансов и в области двойного резонанса в однородной плазме и неоднородной ионосфере.	ПК-1
3. Физическая природа нелинейных явлений: тепловая стрикционная, ионизационная нелинейности.	ПК-1
4. Стрикционная параметрическая неустойчивость вблизи точки отражения волны накачки. Возбуждение ленгмюровской турбулентности.	ПК-1
5. Тепловая параметрическая неустойчивость в области верхнего гибридного резонанса волны накачки. Образование мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности,	ПК-1



вытянутых вдоль геомагнитного поля.	
6. Самофокусировка мощных радиоволн и крупномасштабные неоднородности	ПК-1
7. Ускорение электронов продольными волнами.	ПК-2
8. Искусственное оптическое свечение ионосферы.	ПК-2
9. Подавление фона оптического свечения ионосферы	ПК-2
10. Дополнительная ионизация ионосферной плазмы. Генерация искусственных отражающих слоев.	ПК-2
11. Поведение отраженного от ионосферы сигнала мощной волны: стрикционное самовоздействие, «пички», аномальное ослабление	ПК-2
12. Многочастотное доплеровское зондирование ионосферы. Вытеснение плазмы из областей локализации плазменных волн.	ПК-2
13. Искусственное радиоизлучение ионосферы (ИРИ). Спектральный состав ИРИ.	ПК-2
14. Связь ИРИ с ИИТ. Двойная трансформация на неоднородностях как механизм генерации ИРИ.	ПК-2
15. Демонстрация перекачки плазменных волн по спектру с помощью ИРИ.	ПК-2
16. Искусственные периодические неоднородности в поле стоячей волны в ионосфере. Диагностика ионосферы с помощью ИПН.	ПК-2
17. Модуляции ионосферных токов мощным радиоизлучением. Эффект Гетманцева.	ПК-2
18. Нарушение ионизационно-рекомбинационного баланса в нижней ионосфере за счет нагрева и образование дефокусирующей линзы.	ПК-2

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

Оформить отчет по итогам выполнения зачетного задания.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) «Возмущение ионосферы мощными радиоволнами»

а) основная литература:

1. Грач С. М., Сергеев Е. Н., Мишин Е. В., Шиндин А. В. Динамические характеристики плазменной турбулентности ионосферы, инициированной воздействием мощного коротковолнового радиоизлучения // УФН, Т. 186, С. 1189–1228 (2016). DOI: 10.3367/UFNr.2016.07.037868
2. Гуревич А. В. Нелинейные явления в ионосфере // УФН, Т. 177, С. 1145–1177 (2007). DOI: 10.3367/UFNr.0177.200711a.1145
3. Митяков Н.А., Грач С.М., Митяков С.Н. Возмущение ионосферы мощными радиоволнами. Итоги науки и техники, Серия: Геомагнетизм и высокие слои атмосферы, М., ВИНТИ, 1989. Режим доступа: [http://window.edu.ru/resource/137/79137/files/Grach\\_modif2012.pdf](http://window.edu.ru/resource/137/79137/files/Grach_modif2012.pdf)
4. Грач С.М. Волны в плазме (вводный курс). Учебное пособие. Новгород, ННГУ, 2009. 113 с.  
Режим доступа: <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2010/45.pdf>

5. Грач С.М. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМОЩНЫХ РАДИОВОЛН С ИОНОСФЕРОЙ. Часть 1. Возбуждение плазменной турбулентности в верхней ионосфере. Учебное пособие. Н. Новгород, ННГУ, 2012. 58 с. Режим доступа: <http://www.unn.ru/books/resources.html>, Grach\_modif2012.pdf
6. Гавриленко В.Г., Яшнов В.А. Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме. Учебное пособие. Новгород, ННГУ. 101 с. Режим доступа: <http://www.unn.ru/books/resources.html> Gavrilenko.pdf

б) дополнительная литература:

1. Гинзбург В. Л. - Распространение электромагнитных волн в плазме. - М.: Наука, 1967. - 683 с.
2. Гинзбург В. Л., Рухадзе А. А. - Волны в магнитоактивной плазме. - М.: Наука, 1975. - 255 с.
3. Михайловский А. Б. - Теория плазменных неустойчивостей: [в 2 т.]. Т. 1. - М.: Атомиздат, 1975. - 272 с.
4. Кадомцев Б. Б. - Коллективные явления в плазме. - М.: Наука, 1988. - 304 с.
5. Цытович В. Н. - Нелинейные эффекты в плазме. - М.: Наука, 1967. - 287 с.
6. Силин В. П. - Параметрическое воздействие излучения большой мощности на плазму. - М.: Наука, 1973. - 287 с.
7. Гершман Б. Н., Ерухимов Л. М., Яшин Ю. Я. - Волновые явления в ионосфере и космической плазме. - М.: Наука, 1984. - 392 с.
8. Электродинамика плазмы./Ахиезер А. И., Ахиезер И. А., Половин Р. В., Ситенко А. Г., Степанов К. Н. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. - 719 с.
9. Александров А. Ф., Богданкевич Л. С., Рухадзе А. А. - Основы электродинамики плазмы: [учеб. для физ. специальностей ун-тов]. - М.: Высшая школа, 1988. - 423, [1] с.
10. Основы физики плазмы: [в 2 т.]/Галеев А. А., Сагдеев Р. З., Судан Р., [и др. Доп. Т. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 239 с.
11. Железняков В. В. - Излучение в астрофизической плазме. - М.: Янус-К, 1997. - 528 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

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 (модуля)

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 демонстрационного 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.ф.-м.н., профессор Грач С.М.

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.