

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

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета
ННГУ протокол от «02»
декабря 2024 г. № 10

**Рабочая программа дисциплины «Взаимодействие высокочастотных
электромагнитных волн с магнитоактивной столкновительной
плазмой (ионосферой)»**

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность
1.3.4. Радиофизика

Программа подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Радиофизика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2025 год

1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Взаимодействие высокочастотных электромагнитных волн с магнитоактивной столкновительной плазмой (ионосферой)» относится к числу *элективных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2-ом году обучения в 3-м семестре.

Цель дисциплины – знакомство с основными явлениями, происходящими в ионосфере Земли под действием мощного высокочастотного электромагнитного излучения, с экспериментальными методами исследований этих явлений, с современным состоянием теории распространения электромагнитных волн в ионосфере и магнитосфере, теорией нелинейного взаимодействия мощного высокочастотного электромагнитного излучения с магнитоактивной плазмой.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- экспериментальные методы исследований и взаимодействия мощного высокочастотного электромагнитного излучения с магнитоактивной плазмой.
- методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области исследований взаимодействия мощных радиоволн с ионосферой Земли, методы одновременного (комплексного) использования различных диагностических средств для исследования явлений, происходящих в возмущенной области ионосферы
- современное состояние теории распространения электромагнитных волн в ионосфере и магнитосфере, теории нелинейного взаимодействия мощного высокочастотного электромагнитного излучения с магнитоактивной плазмой.
- современные подходы к описанию и моделированию различных происходящих в ионосфере и магнитосфере под действием мощных радиоволн, и оценке полученных результатов

Уметь:

- Выбирать и применять адекватные экспериментальные методы и методы анализа полученных экспериментальных данных в соответствии с типом поставленной задачи
- Использовать полученные знания для корректной интерпретации явлений, наблюдаемых на эксперименте.

Владеть:

- навыками компьютерного моделирования различных явлений, происходящих в возмущенной мощным радиоизлучением области ионосферы.

3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 1

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Задачи, возникающие при распространении в ионосфере мощных радиоволн. Краткая характеристика существующих установок по экспериментальному исследованию взаимодействия мощных радиоволн с ионосферой.	4	2				2	2
2. Физическая природа нелинейных явлений в плазме	2	1				1	1
3. Структура ионосферы. Нормальные волны в магнитоактивной плазме.	4	2				2	2
4. Общая характеристика искусственной ионосферной турбулентности F-области ионосферы	2	1				1	1
5. Стрикционная параметрическая неустойчивость вблизи точки отражения волны накачки.	8	4				4	4
6. Тепловая параметрическая неустойчивость в области верхнего гибридного резонанса волны накачки.	8	4				4	4
7. Ускорение электронов продольными волнами.	4	2				2	2
8. Физические процессы, влияющие на оптическое свечение ночной ионосферы и на ионизацию нейтральной компоненты при воздействии мощными радиоволнами.	4	2				2	2
9. Радиозондирование и радиопросвечивание возмущенной области ионосферы	8	4				4	4
10. Искусственное радиоизлучение ионосферы (ИРИ).	12	6				6	6
11. Искусственное оптическое свечение и дополнительная ионизация ионосферной плазмы.	10	5				5	5
12. Тепловые нелинейные эффекты в нижней ионосфере.	6	3				3	3
Промежуточная аттестация: – зачет							
Итого	72	36				36	36

Таблица 2

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Задачи, возникающие при распространении в ионосфере мощных радиоволн. Краткая характеристика существующих установок по экспериментальному исследованию взаимодействия мощных радиоволн с ионосферой.	История вопроса. Краткая характеристика нагревных стендов «Сура», EISCAT, HAARP, Аресибо: эффективная мощность, частотный диапазон, диагностические возможности, Географическое положение.	Лекция	
2.	Физическая природа нелинейных явлений в ионосферной плазме	Тепловая и стрикционная нелинейности. Силе Миллера.	Лекция	
3.	Структура ионосферы. Нормальные волны в магнитоактивной плазме.	Структура ионосферы. Нормальные волны в магнитоактивной плазме. Поляризация нормальных волн. Распространение КВ радиоволн при их падении на ионосферу. Вертикальное зондирование ионосферы. Линейная трансформация волн, утраивание сигналов. Продольные (квази-потенциальные) волны, их особенности вблизи кратных гиорезонансов и в области двойного резонанса.	Лекция	
4	Общая характеристика искусственной ионосферной турбулентности F-области ионосферы.	Различные стадии воздействия. Стрикционная и тепловая параметрические неустойчивости. .	Лекция	
5.	Стрикционная параметрическая неустойчивость. вблизи точки отражения волны накачки.	Структура поля волны накачки в области отражения. Порог неустойчивости. Индуцированное рассеяние на ионах, модуляционная неустойчивость. Свойства ленгмюровской турбулентности.	Лекция	
6	Тепловая параметрическая неустойчивость в области верхнего гибридного резонанса волны накачки.	Возбуждение верхне- гибридных волн и мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности, вытянутых вдоль геомагнитного поля. Стационарные свойства верхнегибридной турбулентности.	Лекция	
7.	Ускорение электронов продольными волнами	Особенности квазилинейного приближения в рассмотрении взаимодействия волн и частиц в ионосфере. Влияние магнитного поля.	Лекция	
8	Физические процессы, влияющие на оптическое свечение ночной ионосферы и на ионизацию нейтральной компоненты при воздействии мощными радиоволнами.	Усиление оптического свечения при столкновениях ускоренных электронов с нейтральными атомами. Подавление свечения в результате влияния нагрева электронов на процесс рекомбинации. Длины волн наблюдаемого оптического свечения. Ионизация электронным ударом.	Лекция	
9	Радиозондирование возмущенной области ионосферы	Поведение отраженного от ионосферы сигнала мощной волны: стрикционное самовоздействие, «пички», аномальное ослабление. Ракурсное рассеяние радиоволн. Просвечивание ионосферы радиосигналами ИСЗ. Многочастотное доплеровское зондирование ионосферы.	Лекция	

10.	Искусственное радиоизлучение ионосферы (ИРИ).	Спектральный состав ИРИ. Связь ИРИ с ИИТ. Двойная трансформация на неоднородностях как механизм генерации ИРИ. Диагностические возможности ИРИ. Демонстрация перекачки плазменных волн по спектру с помощью ИРИ. Зависимость ИРИ (и других явлений) от частоты соотношения мощной волны с гармониками электронной циклотронной частоты	Лекция	
11.	Искусственное оптическое свечение и дополнительная ионизация ионосферной плазмы.	Методы и результаты исследований свойств возмущенной области с помощью оптического свечения. Эффект магнитного зенита, его особенности на различных экспериментальных установках. Слои искусственной ионизации в ионосфере (обнаружение, свойства при различных частотах воздействия).	Лекция	
12.	Тепловые нелинейные эффекты в нижней ионосфере	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	Лекция	

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: 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 лекционных занятий. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

1. Нормальные волны в магнитоактивной плазме. Поляризация волн. Распространение КВ радиоволн при их падении на ионосферу.
2. Продольные (квазипотенциальные) волны. Особенности дисперсионных свойств продольных волн вблизи кратных гирорезонансов и в области двойного резонанса в однородной плазме и неоднородной ионосфере.
3. Физическая природа нелинейных явлений: тепловая стрикционная, ионизационная нелинейности.
4. Стрикционная параметрическая неустойчивость вблизи точки отражения волны накачки. Возбуждение ленгмюровской турбулентности.
5. Тепловая параметрическая неустойчивость в области верхнего гибридного резонанса волны накачки. Образование мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности, вытянутых вдоль геомагнитного поля.
6. Самофокусировка мощных радиоволн и крупномасштабные неоднородности.
7. Ускорение электронов продольными волнами.
8. Генерация искусственного оптического свечения и дополнительная ионизация ионосферной плазмы.
9. Поведение отраженного от ионосферы сигнала мощной волны: стрикционное самовоздействие, «пички», аномальное ослабление.
10. Многочастотное доплеровское зондирование ионосферы. Вытеснение плазмы из областей локализации плазменных волн.
11. Искусственное радиоизлучение ионосферы (ИРИ). Спектральный состав ИРИ.
12. Связь ИРИ с ИИТ. Двойная трансформация на неоднородностях как механизм генерации ИРИ.
13. Демонстрация перекачки плазменных волн по спектру с помощью ИРИ.
14. Искусственные периодические неоднородности в поле стоячей волны в ионосфере. Диагностика ионосферы с помощью ИПН.
15. Модуляции ионосферных токов мощным радиоизлучением. Эффект Гетманцева.
16. Нарушение ионизационно-рекомбинационного баланса в нижней ионосфере за счет нагрева и образование дефокусирующей линзы.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) Основная литература

1. 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>

2. Грач С.М. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЩНЫХ 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

3. Грач С.М., Сергеев Е.Н., Шиндин А.В., ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЩНЫХ РАДИОВОЛН С Верхней ионосферой ИОНОСФЕРОЙ. Часть 2 Плазменная турбулентность и искусственное радиоизлучение ионосферы. Учебное пособие. Н. Новгород, ННГУ, 2017, 50 с. Режим доступа: http://www.unn.ru/books/met_files/Grach_posob2017.pdf

4. Гавриленко В.Г., Яшнов В.А. Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме. Учебное пособие. Новгород, ННГУ, 2015, 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.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.ru>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;

- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;

- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;

- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Автор: д.ф.-м.н., проф. С. М. Грач

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

Заведующий кафедрой: д.т.н., снс А.В. Калини

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «28» ноября 2024 года, протокол № 06/24.