

**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 «Излучение и распространение  
электромагнитных волн в магнитоактивной плазме»**

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 «Излучение и распространение электромагнитных волн в магнитоактивной плазме» относится к числу *элективных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2-ом году обучения в 4-ом семестре.

**Цель дисциплины** – углубленное ознакомление аспирантов с электромагнитными волновыми процессами в магнитоактивной плазме, а также методами описания волновых полей в такой среде. Основной задачей лекционного курса является демонстрация общности описания волновых явлений в магнитоактивных средах различной природы.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**Знать:**

- Основы электродинамики магнитоактивной плазмы;
- Законы распространения и излучения электромагнитных волн в магнитоактивной плазме;
- Основные особенности электромагнитных волновых процессов в гиротропных средах, а также методы описания волновых полей в таких средах;

**Уметь:**

- Анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач;
- Использовать полученные знания с учетом новейшего отечественного и зарубежного опыта для анализа и исследования волновых явлений в гиротропных средах различной природы;

**Владеть:**

- Строгими и приближенными методами анализа особенностей распространения электромагнитных волн в магнитоактивной плазме, а также направляющих системах, заполненных такой средой;
- Методами расчета характеристик излучения заданных источников в однородной и неоднородной магнитоактивной плазме.

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., всего - 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 72 часа 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. Введение	3	1				1	2

2. Основы электродинамики магнитоактивной плазмы	12	4				4	8
3. Распространение плоских электромагнитных волн в магнитоактивной плазме	30	10				10	20
4. Элементы теории распространения волновых пучков в магнитоактивной плазме	15	5				5	10
5. Распространение электромагнитных волн при наличии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением	18	6				6	12
6. Излучение электромагнитных волн заданными источниками в однородной магнитоактивной плазме	15	5				5	10
7. Излучение электромагнитных волн заданными источниками при наличии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением	15	5				5	10
<b>Промежуточная аттестация:</b> – <i>зачет</i>							
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>36</b>				<b>36</b>	<b>72</b>

**Таблица 2**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Введение	Предмет и задачи курса. Анизотропия и гиротропия. Примеры анизотропных и гиротропных сред. Магнитоактивные среды.	Лекции	-
2.	Основы электродинамики магнитоактивной плазмы	2.1. Уравнения электромагнитного поля и граничные условия. 2.2. Материальные уравнения электромагнитного поля в магнитоактивных средах. Тензоры комплексной диэлектрической проницаемости и комплексной проводимости газовой и твердотельной плазмы в постоянном магнитном поле. 2.3. Энергия электромагнитного поля, мощность джоулевых потерь, вектор плотности потока энергии в магнитоактивной плазме. 2.4. Лемма Лоренца и теорема взаимности в случае анизотропной среды. Транспонированное соотношение взаимности в магнитоактивной плазме.	Лекции	-
3.	Распространение плоских	3.1. Плоские волны в магнитоактивной плазме. Дисперсионное уравнение для	Лекции	-

	электромагнитных волн в магнитоактивной плазме	<p>плоских волн. Нормальные волны. Поверхности волновых векторов и лучевые поверхности. Взаимная ориентация волнового и лучевого векторов.</p> <p>3.2. Основные особенности распространения нормальных волн в магнитоактивной плазме.</p> <p>а) Показатели преломления и поляризация нормальных волн при распространении вдоль и поперек внешнего магнитного поля. Эффекты Фарадея и Коттона–Мутона.</p> <p>б) Показатели преломления и поляризация нормальных волн при распространении под произвольным углом к внешнему магнитному полю. Частоты отсечки и резонансные частоты.</p> <p>в) Примеры поверхностей волновых векторов и лучевых поверхностей для различных частотных интервалов. Конус Стори. Коническая рефракция.</p> <p>3.3. Особенности распространения электромагнитных волн в магнитоактивной плазме в важных частных случаях.</p> <p>а) Потенциальные (электростатические) волны и условия их существования. Резонансный конус.</p> <p>б) «Спиральные» волны (свистовое приближение). Свистовые волны в газовой плазме. Геликоны в плазме металлов и полупроводников.</p> <p>в) Низкочастотные волны. Альфвеновские и магнитозвуковые волны в газовой и твердотельной плазме. Переход к магнитогидродинамическому приближению. Магнитогидродинамические волны.</p>		
4	Элементы теории распространения волновых пучков в магнитоактивной плазме	<p>Угловой спектр плоских волн в магнитоактивной плазме.</p> <p>Квазиоптическое приближение.</p> <p>Распространение волновых пучков в особых направлениях, отвечающих конусу Стори и конической рефракции.</p>	Лекции	-
5.	Распространение электромагнитных волн при наличии направляющих систем с магнитоактивным	<p>5.1. Обзор важных для приложений случаев распространения электромагнитных волн в присутствии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением.</p>	Лекции	-

	плазменным заполнением	5.2. Обзор приближенных методов анализа замагниченных плазменных направляющих систем. 5.3. Примеры строго решаемых задач (волны, направляемые однородным плоским плазменным слоем и однородным цилиндрическим плазменным столбом во внешнем магнитном поле).		
6.	Излучение электромагнитных волн заданными источниками в однородной магнитоактивной плазме	6.1. Представление поля заданных источников в виде интеграла Фурье и в виде разложения по системе собственных волн с непрерывным пространственным спектром. 6.2. Вычисление поля в дальней зоне. Диаграмма направленности излучения по мощности. Полная мощность излучения и ее распределение по пространственному спектру возбуждаемых квазиплоских волн. 6.3. Примеры расчета характеристик излучения простейших источников (электрического диполя и круговой рамки с током) в магнитоактивной плазме.	Лекции	-
7.	Излучение электромагнитных волн заданными источниками при наличии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением	7.1. Обзор методов отыскания полей заданных источников при наличии плазменных направляющих систем во внешнем магнитном поле. Представление поля в виде разложения в интеграл Фурье по продольному волновому числу. 7.2. Спектральное представление поля. Постановка задачи о собственных волнах открытой направляющей системы в магнитоактивной плазме. Волны дискретной и непрерывной частей пространственного спектра. Расчет коэффициентов возбуждения собственных волн. 7.3. Примеры строго решаемых задач излучения заданных источников при наличии замагниченных плазменных волноводов.	Лекции	-

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Собеседование с обучающимися во время аудиторных занятий.
3. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы студентов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма групповой консультации по отдельным разделам дисциплины в виде семинаров по современным проблемам радиофизики, проводимым на кафедре факультативно.

## 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. Анизотропия и гиротропия. Физические причины возникновения анизотропии и гиротропии.
2. Материальные уравнения для анизотропных диспергирующих сред. Временная и пространственная дисперсия. Тензоры комплексной проводимости и комплексной диэлектрической проницаемости.
3. Плоские волны в анизотропных средах. Дисперсионное уравнение для плоских волн. Поверхность показателя преломления. Лучевой вектор. Лучевая поверхность.
4. Теорема о взаимной ориентации волнового и лучевого векторов в среде при отсутствии пространственной дисперсии.
5. Магнитоактивные среды. Тензор комплексной диэлектрической проницаемости газовой плазмы в постоянном магнитном поле.
6. Тензор комплексной диэлектрической проницаемости твердотельной плазмы в постоянном магнитном поле.
7. Плоские волны в магнитоактивных средах. Дисперсионное уравнение для плоских волн. Обыкновенная и необыкновенная волны.

8. Показатели преломления и поляризации нормальных волн в магнитоактивной плазме при распространении вдоль внешнего магнитного поля. Эффект Фарадея. Резонансные частоты.

9. Показатели преломления и поляризации нормальных волн в магнитоактивной плазме при распространении поперек внешнего магнитного поля. Гибридные резонансы.

10. Показатели преломления и поляризации нормальных волн в магнитоактивной плазме при распространении под произвольным углом к внешнему магнитному полю. Поверхности показателя преломления (примеры).

11. Условия существования потенциальных волн в гироелектрических и гироманнитных средах. Потенциальные волны в магнитоактивной плазме. Возбуждение потенциальных волн заданными источниками.

12. «Спиральные волны» в магнитоактивной плазме (свистовое приближение). Квазипродольное приближение для показателя преломления. Конус Стори.

13. Геликоны в замагниченной плазме металлов и полупроводников (продольное распространение).

14. Представление полей заданных источников в однородной магнитоактивной плазме в виде интеграла Фурье. Вычисление поля в дальней зоне. Диаграмма направленности излучения по мощности. Полная мощность излучения.

15. Представление полей заданных источников при наличии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением в виде разложений по продольному волновому числу и по системе собственных волн.

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

### **а) Основная литература**

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.8 Электродинамика сплошных сред. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2005. — 656 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2234> — Загл. с экрана.

2. Теория волн: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]/Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П., [и др. - М.: Наука, 1990. - 432 с.

3. Александров А. Ф., Богданкевич Л. С., Рухадзе А. А. - Основы электродинамики плазмы: [учеб. для физ. специальностей ун-тов]. - М.: Высшая школа, 1988. - 423 с.

### **б) Дополнительная литература**

1. Грач С.М., Каменецкая Г.Х. Волны в плазме (вводный курс). Часть 1.: Учебное пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2002. 84 с.

2. Еськин В.А. Электромагнитные волны в замагниченных плазменных волноводах: Учебное пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2012. 108 с.

3. Агранович В. М., Гинзбург В. Л - Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. - М.: Наука, 1979. - 432 с.

### **в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);

2. 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: д.ф.-м.н., проф. А.В. Кудрин

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. В.Г. Гавриленко

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

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