

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

Электромагнитные волны в анизотропных
средах

(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.06.01 "Электромагнитные волны в анизотропных средах" 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	
ПК-1: <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	<i>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</i> <i>Уметь: систематизировать и</i>	Собеседование

	различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.	<p><i>анализировать данные большого объема</i></p> <p><i>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</i></p>	
<p>ПК-2:</p> <p><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 результаты</i></p>	<p>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.</p>	<p><i>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</i></p> <p><i>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики</i></p> <p><i>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</i></p>	Собеседование
	<p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p>	<p><i>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений</i></p> <p><i>Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</i></p> <p><i>Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</i></p>	Собеседование
	<p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.</p>	<p><i>Знать: основные принципы организации научного исследования</i></p> <p><i>Уметь: анализировать процесс выполнения научного</i></p>	Собеседование

		<p><i>исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах</i></p> <p><i>Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</i></p>	
	<p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.</p>	<p><i>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности</i></p> <p><i>Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</i></p> <p><i>Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</i></p>	Собеседование
<p>ПК-3:</p> <p><i>Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</i></p>	<p>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.</p>	<p><i>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации</i></p> <p><i>Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</i></p> <p><i>Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</i></p>	Собеседование

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

3. Структура и содержание дисциплины (модуля) «Электромагнитные волны в анизотропных средах»

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32

самостоятельная работа	39
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	-

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	4			1								1			3			
2. Основы электродинамики и магнитоактивной плазмы	7			3								3			4			
3. Распространение плоских электромагнитных волн в магнитоактивной плазме	18			8								8			10			
4. Элементы теории распространения волновых пучков в магнитоактивной плазме	8			4								4			4			
5. Распространение электромагнитных волн при наличии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением	12			6								6			6			
6. Излучение электромагнитных волн	10			4								4			6			

заданными источниками в однородной магнитоактивной плазме																	
7. Излучение электромагнитных волн заданными источниками при наличии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением	12			6								6			6		
В т.ч. текущий контроль	1			1								1			-		
Промежуточная аттестация - Зачет																	

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Введение

Предмет и задачи курса. Анизотропия и гиротропия. Примеры анизотропных и гиротропных сред. Магнитоактивные среды.

Раздел 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.

Раздел 3. Распространение плоских электромагнитных волн в магнитоактивной плазме

3.1. Плоские волны в магнитоактивной плазме. Дисперсионное уравнение для плоских волн. Нормальные волны. Поверхности волновых векторов и лучевые поверхности. Взаимная ориентация волнового и лучевого векторов.

3.2. Основные особенности распространения нормальных волн в магнитоактивной плазме.

а) Показатели преломления и поляризация нормальных волн при распространении вдоль и поперек внешнего магнитного поля. Эффекты Фарадея и Коттона–Муттона.

б) Показатели преломления и поляризация нормальных волн при распространении под произвольным углом к внешнему магнитному полю. Частоты отсечки и резонансные частоты.

в) Примеры поверхностей волновых векторов и лучевых поверхностей для различных частотных интервалов. Конус Стори. Коническая рефракция.

3.3. Особенности распространения электромагнитных волн в магнитоактивной плазме в важных частных случаях.

а) Потенциальные (электростатические) волны и условия их существования. Резонансный конус.

б) «Спиральные» волны (свистовое приближение). Свистовые волны в газовой плазме. Геликоны в плазме металлов и полупроводников.

в) Низкочастотные волны. Альфвеновские и магнитозвуковые волны в газовой и твердотельной плазме. Переход к магнитогидродинамическому приближению. Магнитогидродинамические волны.

Раздел 4. Элементы теории распространения волновых пучков в магнитоактивной плазме.

Угловой спектр плоских волн в магнитоактивной плазме. Квазиоптическое приближение. Распространение волновых пучков в особых направлениях, отвечающих конусу Стори и конической рефракции.

Раздел 5. Распространение электромагнитных волн при наличии направляющих систем с магнитоактивным плазменным заполнением.

5.1. Обзор важных для приложений случаев распространения электромагнитных волн в присутствии направляющих систем с магнитоактивным 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).

Раздел 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.

Раздел 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.

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: 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 и практических занятий, а также в процессе зачетов и экзаменов по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, комплекты слайдов, 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 несущественных 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 несущественными 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
	превосходно	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
зачтено	отлично	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»
	очень хорошо	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»
	хорошо	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»
	удовлетворительно	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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	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. Анизотропия и гиротропия. Физические причины возникновения анизотропии и гиротропии.	ПК-1
2. Материальные уравнения для анизотропных диспергирующих сред. Временная и пространственная дисперсия. Тензоры комплексной проводимости и комплексной диэлектрической проницаемости.	ПК-1
3. Плоские волны в анизотропных средах. Дисперсионное уравнение для плоских волн. Поверхность показателя преломления. Лучевой вектор. Лучевая поверхность.	ПК-1
4. Теорема о взаимной ориентации волнового и лучевого векторов в среде при отсутствии пространственной дисперсии.	ПК-1
5. Диэлектрическая проницаемость кристаллов. Диэлектрическая проницаемость изотропных тел в постоянном электрическом поле.	ПК-1
6. Дисперсионное уравнение для плоских волн в кристаллических средах (уравнение Френеля). Показатели преломления и поляризация	ПК-1

нормальных волн.	
7. Оптические свойства одноосных и двухосных кристаллов. Коническая рефракция.	ПК-1
8. Среда со слабой пространственной дисперсией. Разложение тензора диэлектрической проницаемости по степеням волнового числа. Естественная оптическая активность и условия ее существования. Хиральные среды.	ПК-1
9. Волны в изотропной оптически активной среде (дисперсионное уравнение, показатели преломления, поляризация). Двойное круговое преломление нормальных волн.	ПК-1
10. Магнитоактивные среды. Тензор комплексной диэлектрической проницаемости газовой плазмы в постоянном магнитном поле.	ПК-2
11. Тензор комплексной диэлектрической проницаемости твердотельной плазмы в постоянном магнитном поле.	ПК-2
12. Плоские волны в магнитоактивных средах. Дисперсионное уравнение для плоских волн. Обыкновенная и необыкновенная волны.	ПК-2
13. Показатели преломления и поляризации нормальных волн в магнитоактивной плазме при распространении вдоль внешнего магнитного поля. Эффект Фарадея. Резонансные частоты.	ПК-2
14. Показатели преломления и поляризации нормальных волн в магнитоактивной плазме при распространении поперек внешнего магнитного поля. Гибридные резонансы.	ПК-2
15. Показатели преломления и поляризации нормальных волн в магнитоактивной плазме при распространении под произвольным углом к внешнему магнитному полю. Поверхности показателя преломления (примеры).	ПК-2
16. Условия существования потенциальных волн в гироэлектрических и гиромагнитных средах. Потенциальные волны в магнитоактивных средах. Возбуждение потенциальных волн заданными источниками.	ПК-2
17. «Спиральные волны» в магнитоактивных средах (свистовое приближение). Квазипродольное приближение для показателя преломления. Конус Стори.	ПК-2
18. Геликоны в замагниченной плазме металлов и полупроводников (продольное распространение).	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) «Электромагнитные волны в анизотропных средах»

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. Гинзбург В. Л. - Распространение электромагнитных волн в плазме. - М.: Наука, 1967. - 683 с.
2. Топтыгин И.Н., Флейшман Г.Д. Генерация собственных мод заданным током в анизотропных и гиротропных средах // Успехи физических наук. 2008. Т. 178, № 4. С. 385–396. Режим доступа: <https://ufn.ru/ru/articles/2008/4/c/>
3. Kudrin A.V., Petrov E.Yu., Kyriacou G.A., Zaboronkova T.M. Electromagnetic radiation from sources embedded in a cylindrically stratified unbounded gyrotropic medium // Progress in Electromagnetics Research B. 2009. V. 12. P. 297–331. Режим доступа: <https://www.jpier.org/pierb/pier.php?paper=08120503>
4. Еськин В.А. Электромагнитные волны в замагниченных плазменных волноводах: Учебное пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2012. 108 с. Режим доступа: http://www.unn.ru/books/met_files/Eskin.pdf
5. 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. 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: зав. кафедрой электродинамики, проф. А.В. Кудрин

Рецензент: профессор кафедры распространения радиоволн и Радиоастрономии, проф. В.Г. Гавриленко

Заведующий кафедрой: проф. А.В. Кудрин

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