

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

_____ М.Ю. Глявин

« ____ » _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Электродинамика квазиоптических систем

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки / специальность
03.06.01 Физика и астрономия

Направленность образовательной программы
01.04.03 Радиофизика

Квалификация (степень)
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Электродинамика квазиоптических систем» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является дисциплиной по выбору аспиранта, преподается на втором году обучения в четвертом семестре.

Освоение дисциплины опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. В частности, на знания, умения и навыки, полученные в ходе освоения таких дисциплин, как «Теория колебаний и волн», «Электродинамика», «Электромагнитные волны» и т.п.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов современного представления об основных явлениях и эффектах при распространении волновых пучков;
- ознакомление с основными подходами для разработки квазиоптических систем;
- формирование у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленностью подготовки 01.04.03 «Радиофизика»

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Таблица 1:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта</i> (этап освоения – базовый)	<i>З1 (ПК-2) Знать основные явления и эффекты, возникающие при распространении квазиоптических пучков в свободном пространстве и волноведущих системах</i> <i>У1 (ПК-2) Уметь пользоваться основными подходами для расчета квазиоптических систем и фазовых корректоров.</i> <i>В1 (ПК-2) Владеть навыками решения заданий, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</i>
ПК-3 <i>способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)</i> (этап освоения – базовый)	<i>З1 (ПК-3) Знать основные разделы теории электродинамики квазиоптических систем, необходимые для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач.</i> <i>У1(ПК-3) Уметь применять полученные в области электродинамики квазиоптических систем знания для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач.</i> <i>В1(ПК-3) Владеть навыками решения практических задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</i>

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятий лекционного типа, в т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 70 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2:

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Введение в электродинамику квазиоптических систем	10	2		2	8
Гауссовы волновые пучки	16	6		6	10
Фазовые корректоры. Синтез волновых пучков	14	4		4	10
Квазиоптические системы на основе эффекта Тальбота	14	4		4	10
Открытые резонаторы	14	6		6	8
Квазиоптические интерферометры	14	6		6	8
Квазиоптические линии передачи	12	4		4	8
Преобразователи волноводных волн	12	4		4	8
в т.ч. текущий контроль			4		
Аттестация по дисциплине – зачет	2			2	
Итого		108			

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Введение в электродинамику квазиоптических систем

Волновое уравнение для вектор-потенциала. Параксиальное приближение в дифракции. Параболическое уравнение. Законы сохранения при распространении волновых пучков. Интеграл Гюйгенса-Кирхгофа. Дифракция на элементарных объектах. Условия применимости параболического уравнения.

Раздел 2. Гауссовы волновые пучки

Эрмит-Гауссовы и Лагерр-Гауссовы волновые пучки и их распространение. Матричное описание гауссовых пучков. Вихри в параксиальных волновых пучках.

Раздел 3. Фазовые корректоры. Синтез волновых пучков

Типы фазовых корректоров. Задача синтеза фазовых корректоров. Зеркальные фазовые корректоры. Методы диагностики волновых пучков малой и большой мощности. Восстановление фазового фронта пучка по амплитудным измерениям.

Раздел 4. Квазиоптические системы на основе эффекта Тальбота

Дифракция и интерференция параксиальных волновых пучков внутри регулярных сверхразмерных волноводов. Мультипликация изображений. Элементы на основе этого эффекта: резонатор лазера на свободных электронах, система деления и сложения волновых пучков, управляемый переключатель, антенна дистанционного управления качанием волнового пучка.

Раздел 5. Открытые резонаторы

Применение открытых резонаторов в оптике, СВЧ электронике, антенной технике. Подходы к описанию открытых резонаторов: геометрикооптический, метод разделения переменных, ин-

тегральное уравнение для поля волнового пучка, резонатор как отрезок волновода. Открытый двухзеркальный резонатор. Рассмотрение резонаторов в эллиптических и сфероидальных координатах. Описание интегральным уравнением. Собственные колебания и частоты. Селекция колебаний в квазиоптических резонаторах.

Раздел 6. Квазиоптические интерферометры

Квазиоптические интерферометры и фильтры. Резонатор Фабри-Перо. Интерферометр Майкельсона. Фильтр на резонансе вспомогательной волны. Резонатор с бегущей волной.

Раздел 7. Квазиоптические линии передачи

Типы линий передачи. Сверхразмерные гладкие и гофрированные волноводы. Линзовые и зеркальные линии. Диэлектрический волновод. Металлический стержень как волноведущая структура. Основные компоненты линий передачи: волноводы, согласующая оптика, модовые фильтры, поляризаторы, переключатели, направленные ответвители, повороты, нагрузки.

Раздел 8. Преобразователи волноводных волн

Парциальные и нормальные волны многомодовых волноводов и их преобразование. Методы анализа и синтеза волноводных преобразователей. Концепция Бриллюэна. Квазиоптические преобразователи высших волноводных мод в собственные волны открытых линий передачи

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Электродинамика квазиоптических систем» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе аудиторных занятий по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме зачета. Зачет состоит из индивидуального собеседования и решения практических контрольных заданий. Критерии оценок выполнения задания:

Зачтено	В целом удовлетворительная подготовка, возможно с заметными, но не грубыми ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все теоретические вопросы собеседования, возможно с небольшими неточностями; допускаются негрубые ошибки при ответах на дополнительные вопросы. Полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей, возможно с не всегда полной обоснованностью выводов.
---------	---

Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы как на теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы преподавателя, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки.
------------	--

6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности компетенций ПК-2, ПК-3:

1. Параксиальное приближение в дифракции. Параболическое уравнение.
2. Законы сохранения при распространении волновых пучков.
3. Интеграл Гюйгенса-Кирхгофа. Дифракция на элементарных объектах.
4. Основные свойства Эрмит- и Лагерр-Гаусовых волновых пучков.
5. Вихри в параксиальных волновых пучках.
6. Методы синтеза фазовых корректоров.
7. Восстановление фазового фронта пучка по амплитудным измерениям.
8. Эффект Тальбота для параксиальных волновых пучков
9. Применение открытых резонаторов в оптике, СВЧ электронике, антенной технике.
10. Подходы к описанию открытых резонаторов
11. Двухзеркальный резонатор. Собственные колебания и частоты.
12. Селекция колебаний в квазиоптических резонаторах.
13. Резонатор Фабри-Перо.
14. Интерферометр Майкельсона.
15. Фильтр на резонансе вспомогательной волны.
16. Резонатор с бегущей волной.
17. Сверхразмерные гладкие и гофрированные волноводы.
18. Линзовые и зеркальные линии.
19. Диэлектрический волновод. Металлический стержень как волноведущая структура.
20. Основные компоненты линий передачи.
21. Парциальные и нормальные волны многомодовых волноводов.
22. Методы анализа и синтеза волноводных преобразователей.
23. Концепция Бриллюэна. Квазиоптические преобразователи высших волноводных мод в собственные волны открытых линий передачи.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т.7: Электродинамика сплошных сред – 4 экз.
- 2) Гильденбург В.Б., Миллер М.А. Сборник задач по электродинамике: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по физическим направлениям и специальностям. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН]
<http://www.iapras.ru/biblio/ed.html>
- 3) Высокочастотный разряд в волновых полях. *Сборник научных трудов*. Под. ред. Академика РАН А.Г. Литвака. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН]
<http://www.iapras.ru/biblio/vh.html>
- 4) М. И. Рабинович, Д. И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. Издательство ГосУНЦ «Колледж», 1999. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН]
<http://www.iapras.ru/biblio/koleb.html>
- 5) М. М. Карлинер. Электродинамика СВЧ. Курс лекций / Новосибирский государственный университет. Новосибирск, 2006. 257 с. Электронный ресурс - Методические материалы НГУ: <http://wwwold.inp.nsk.su/students/radio/2005/nsu118.pdf>

б) дополнительная литература:

- 1) *Б.З. Каценеленбаум*. Высокочастотная электродинамика. М.Наука, 1966.
- 2) *Л.А. Вайнштейн*. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М., Сов.Радио, 1966.
- 3) *Б.З. Каценеленбаум, В.В. Семенов*. Синтез фазовых корректоров, формирующих заданное поле. Радиотехника и электроника, 1967, №12, с. 244-252.
- 4) *Власов С.Н., Орлова И.М.* Квазиоптический преобразователь волн волновода круглого сечения в узконаправленный волновой пучок. Известия ВУЗов, Радиофизика. 1974, т.17, №1, с.148-154.
- 5) *В.С. Авербах, С.Н. Власов, В.И. Таланов*. Методы селекции типов колебаний в открытых квазиоптических системах. Известия ВУЗов, Радиофизика, 1967. Т.10. №9-10. с.1333-1357.

в) интернет-ресурсы:

1. Труды конференций «Strong Microwaves in Plasmas». Виртуальная библиотека ИПФ РАН. <http://www.iapras.ru/biblio/b1s.html>
2. <https://elibrary.ru>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 01.04.03 Радиофизика.

Авторы _____ Г.Г. Денисов

_____ С.В. Кузиков

Ответственный за направление подготовки _____ Вл.В. Кочаровский

Рецензент _____

Программа принята на заседании Ученого совета Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОФПиЭБМ _____ О.С. Моченева

Программа принята на заседании Ученого совета отделения геофизических исследований и Центра гидроакустики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОГИиЦГ _____ М.В. Шаталина

Программа принята на заседании Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОНДиО _____ А.В. Коржиманов

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-2 Способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать основные явления и эффекты, возникающие при распространении квазиоптических пучков в свободном пространстве и волноведущих системах	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь пользоваться основными подходами для расчета квазиоптических систем и фазовых корректоров.	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть навыками решения заданий, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %

ПК-3 Способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать основные разделы теории электродинамики квазиоптических систем, необходимые для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач.	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь применять полученные в области электродинамики квазиоптических систем знания для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач.	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть навыками решения практических задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %