

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова  
физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по развитию образования  
\_\_\_\_\_ Е.В.Сапир

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2012 г.

**Рабочая программа дисциплины  
послевузовского профессионального образования  
(аспирантура)**

**Распространение радиоволн в неоднородных средах**

**по специальности научных работников**

**01.04.03 Радиофизика**



1	<b>Введение. Предмет и задачи курса.</b>	1	1	2					
2	<b>Классификация неоднородных сред. Основные методы описания волновых процессов в сплошных средах.</b>	1	2-4				20		реферат
3	<b>Распространение радиоволн в турбулентной атмосфере.</b>	1	5-7				24		реферат
4	<b>Распространение радиоволн в дискретных случайно-неоднородных средах.</b>	1	8-11				24		реферат
5	<b>Итоговое занятие</b>	1	12	2					<b>зачет</b>
				<b>4</b>			<b>68</b>		

### Содержание дисциплины

**Тема 1.** Введение. Предмет и задачи курса.

**Тема 2.** Классификация неоднородных сред. Основные методы описания волновых процессов в сплошных средах. Волновое уравнение для неоднородных сред. Решение волнового уравнения в приближении геометрической оптики. Плоскостная и сферически слоистая модель среды. Виды атмосферной рефракции.

**Тема 3.** Распространение радиоволн в турбулентной атмосфере. Волновое уравнение для сплошной случайно неоднородной среды. Рассеяние волн в случайной сплошной среде. Формула Брукера-Гордона. Методы моделирования распространения радиоволн в турбулентной среде в случае слабых флуктуаций. Приближение Рытова. Статистические характеристики уровня и фазы. Сильные флуктуации. Параболическое уравнение. Метод Гюйгенса-Кирхгофа. Приближение фазового экрана.

**Тема 4.** Распространение радиоволн в дискретных случайно-неоднородных средах. Взаимодействие излучения с отдельным рассеивателем. Рассеяние волн на совокупности частиц. Радиолокационное сечение рассеяния. Средняя мощность рассеянного поля. Различные приближения рассеяния. Временная, пространственная и частотная корреляция рассеянного поля в разреженном облаке частиц. Основные положения теории многократного рассеяния в дискретных случайно-неоднородных средах. Диаграммная техника. Различные приближения. Теория Фолди - Тверского. Основные положения теории переноса излучения. Связь с теорией многократного рассеяния.

### 5. Образовательные технологии

Лекции, использование мультимедийных технологий при изложении отдельных разделов лекционного курса, индивидуальная работа в группах; самостоятельная работа с учебной и справочной литературой, использование Интернет – технологий.

### 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Текущий контроль успеваемости производится на основании обсуждения самостоятельных заданий (рефератов).

#### Темы рефератов

1. Волноводное распространение радиоволн
2. Особенности моделирования распространения волн миллиметрового диапазона в приземной турбулентной атмосфере
3. Распространение волнового пучка в пределах прямой видимости.
4. Основные методы анализа взаимодействия радиоволн с турбулентными неоднородностями дециметрового и СВЧ диапазонов
5. Дальнее тропосферное распространение
6. Характеристики рассеяния и поглощения гидрометеоров в СВЧ и миллиметровых диапазонах радиоволн
7. Современные модели распространения радиоволн в растительности.
8. Современные модели распространения радиоволн в городской среде.

### **Вопросы к зачету**

1. Волновое уравнение для неоднородных сред.
2. Приближение геометрической оптики. Уравнение эйконала и уравнение переноса.
3. Плоскостная модель среды. Распространение волн в сферически слоистой среде.
4. Рассеяние волн в случайной сплошной среде. Приближение однократного рассеяния.
5. Методы моделирования распространения радиоволн в турбулентной среде в случае слабых флуктуаций.
6. Распространение волнового пучка в пределах прямой видимости.
7. Сильные флуктуации. Параболическое уравнение. Приближение фазового экрана.
8. Рассеяние волн на совокупности частиц. Радиолокационное сечение рассеяния. Средняя мощность рассеянного поля. Различные приближения рассеяния.
9. Временная, пространственная и частотная корреляция рассеянного поля в разреженном облаке частиц.
10. Основные положения теории многократного рассеяния в дискретных случайно-неоднородных средах.
11. Приближение Буре. Лестничное приближение.
12. Теория Фолди - Тверского.
13. Основные положения теории переноса излучения.
14. Приближенные решения для частных случаев.
15. Методы моделирования взаимодействия электромагнитного излучения с растительностью. Особенности анализа в различных частотных диапазонах.

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

#### **а) основная литература:**

1. Кляцкин В.И. Стохастические уравнения: теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике. В 2-х томах. Т.1: Основные положения, точные результаты и асимптотические приближения. Т.1 М.: Физматлит. 2008. 320 с.
2. Кляцкин В.И. Стохастические уравнения: теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике. В 2-х томах. Т.2: Когерентные явления в стохастических динамических системах. Т.2. 2008. 344 с.

#### **б) дополнительная литература:**

1. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.1. М.: Мир. 1981. 280 с.
2. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.2. М.: Мир. 1981. 317 с.

3. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч.2. Случайные поля. М.: Наука, 1978. 463 с.
4. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М. Мир. 1986. 664 с.
5. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: 1990. 432 с.
6. Апресян Л.А., Кравцов Ю.А. Теория переноса излучения. М.: Наука. 1983. 216 с.
7. Ахманов С.А. Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука. 1981. 640 с.
8. Кляцкин В. И. Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах. М.: Мир. 1983. 337 с.
9. Миронов В.Л. Распространение лазерного пучка в турбулентной атмосфере. Новосибирск.: Наука, 1981. 246 с.
10. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн. М.: Ленанд, 2009. 496 с.
11. Куликов А.Н., Лаврентьев Ю.В., Пономарев Г.А., Сильвинский С.В., Соколов А.В., Тельпуховский Е.Д. Распространение ультракоротких волн в городах// Итоги науки и техники. Сер. Радиотехника.-М.: ВИНТИ, 1991. том 42. 197 с.
12. Ishimaru A. Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering. New Jersey: Prentice Hall. 1991. 637 p.
13. Ishimaru A. Wave Propagation and Scattering in Random Media. Vol. 1, 2. IEEE Press-Oxford University Press Classic Reissue. 1997. 572 p.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://lib.mexmat.ru/>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебная лаборатория кафедры радиофизики, мультимедийные средства для проведения презентаций и демонстраций

Программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) (приказ Минобрнауки от 16.03.2011 г. № 1365) с учетом рекомендаций, изложенных в письме Минобрнауки от 22.06.2011 г. № ИБ – 733/12.

Программа одобрена на заседании кафедры радиофизики  
16.10.2012 (протокол № 2)

Заведующий кафедрой

Артемов К.С. к.ф.-м.н, доцент

Автор

Тимофеев В.А. к.ф.-м.н, доцент