

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»  
(ИОФ РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИОФ РАН,  
член корр. РАН  
С.В. Гарнов  
\_\_\_\_\_ 202\_\_ г.



Рабочая программа дисциплины  
РАДИОФИЗИКА

Специальность: 1.3.4. Радиофизика

г. Москва  
2022 год

Рабочая программа дисциплины «Радиофизика» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Программу составили: Гусейн-заде Н.Г., д.ф.-м.н., проф., главный научный сотрудник.  
Скворцова Н.Н., д.ф.-м.н., проф., ведущий научный сотрудник.

Программа обсуждена и одобрена на заседании аспирантской комиссией ИОФ РАН  
30.06.2022, протокол №2206-30

Программа утверждена решением Ученого совета ИОФ РАН 05.07.2022 протокол №13

## **Аннотация**

Учебная дисциплина «Радиофизика» является важной составной частью Учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИОФ РАН. В рамках дисциплины «Радиофизика» обучающиеся далее – аспиранты) получают базовые знания об общих закономерностях генерации, передачи, приема, регистрации и анализа колебаний и волн различной физической природы и разных частотных диапазонов, а также их применением в фундаментальных и прикладных исследованиях.

Дисциплина «Радиофизика» является важным фактором формирования у аспиранта целостного научного мировоззрения, развития физического мышления, умения использовать базовые физические законы, включая анализ основных научных и методологических проблем, возникающих на современном этапе развития радиофизики, и получение представления о тенденциях развития данной отрасли науки.

Освоение дисциплины позволит выработать у аспирантов практические подходы к решению современных проблем в области радиофизики и смежных областях естественных наук. Дисциплина «Радиофизика» также направлена на подготовку аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Общая трудоемкость учебной дисциплины «Радиофизика» составляет 5 зачетных единиц (180 часов).

Контроль уровня освоения дисциплины аспирантами проводится в формах текущей и итоговой аттестации. Текущая аттестация предполагает оценку знаний и умений на лекционных занятиях с помощью устных опросов, оценки различных видов самостоятельной работы аспирантов. Промежуточная аттестация аспирантов проводится в форме зачетов (в 3, 4 и 5 семестрах). Итоговая аттестация проводится в рамках кандидатского экзамена по специальности «Радиофизика» (6 семестр).

### **1. Цель изучения дисциплины**

Цель изучения дисциплины состоит в освоении обучающимися фундаментальных знаний в области радиофизики, овладении методами и выработке практических навыков решения задач по радиофизики, формировании умений, необходимых для успешного осуществления научно-исследовательской деятельности в области радиофизики.

### **2. Задачи дисциплины**

1) освоение аспирантами базовых знаний в области радиофизики как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей научно-технические основы современных инновационных сфер деятельности;

2) обучение аспирантов основным принципам решения задач в области радиофизики и освоение основных теоретических методов, применимых к описанию явлений в этой области физики;

3) формирование правильных теоретических подходов к выполнению научных исследований в области радиофизики.

### **3. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры**

Дисциплина «Радиофизика» относится к элективным дисциплинам Образовательного компонента «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Дисциплина «Радиофизика» реализуется в соответствии с ФГТ, ОПОП ВО и Учебного плана аспирантуры ИОФ РАН по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Изучение дисциплины «Радиофизика» опирается на знания базовых разделов математического анализа, математической физики, теории вероятности, дифференциальных уравнений, общей физики, теории колебаний, теории волн, теории

поля, электродинамики, а также начальных знаний по теории сигналов, радиотехники и электротехники, приобретенных аспирантами в рамках освоения программ магистратуры или специалитета по естественнонаучным и техническим специальностям.

#### **4. Требования к результатам освоения дисциплины**

Изучение дисциплины «Радиофизика» направлено на формирование у аспирантов следующих когнитивных умений и навыков:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач в области радиофизики, а также в смежных и междисциплинарных областях;
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области радиофизики.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

##### **Знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях; естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в областях;
- современные проблемы физики и математики;
- взаимосвязи и фундаментальное единство естественных наук;
- основные законы, явления и эффекты в радиофизике;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в радиофизике и ее приложениях;
- новейшие открытия естествознания в области радиофизике;
- постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в радиофизике.
- основные разделы радиофизики: понятия и концепции теории линейных и нелинейных колебаний и волновых процессов, включая математические модели; генерации, усиления и преобразования колебаний и волн различной природы; линейные и нелинейные процессы излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах; волновые технологии модификации и обработки материалов.
- основные законы и преобразования статистической радиофизики; основные подходы к решению практических задач, связанных с анализом случайных процессов; методы анализа задач оптимального обнаружения сигналов на фоне помех; методы анализа (с оценкой) неизвестных параметров сигналов.

##### **Уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы, а также фундаментальные знания для понимания сущностных явлений окружающего мира;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- решать практические задачи по экспериментальным и теоретическим исследованиям в области радиофизики;
- обосновывать применение математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к радиофизике;
- работать с информацией в области радиофизики, полученной из различных источников: научной периодической литературы, монографий и учебников, электронных ресурсов сети Интернет;

- активно и целенаправленно применять полученные знания, навыки и умения для выбора тематики выполнения индивидуальной научно-исследовательской работы, планирования оптимального проведения эксперимента в области радиофизики;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных радиофизических процессов;
- ставить и решать задачи по распространению, дифракции, рассеянию, взаимодействию и трансформации волн в средах;
- проводить анализ физических процессов, происходящих в однородных и неоднородных средах, в направляющих системах, устройствах транспортировки и излучения сверхвысоких частот, антеннах;
- проводить расчеты характеристик линий передачи, формирующих и излучающих устройств;
- проводить анализ результатов эксперимента, обрабатывать и объяснять результаты, с учетом ошибок и погрешностей проведения эксперимента;
- использовать программное обеспечение для проведения эксперимента, обработки и анализа результатов эксперимента; настраивать программное обеспечение под конкретную задачу.
- представлять решения с использованием средств компьютерной графики и моделирования.
- применять на практике умения и навыки в организации исследовательских работ и проводить научные исследования, готовность к участию в инновационной деятельности.

#### **Владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента в области радиофизики;
- математическим моделированием физических задач в радиофизике.
- методами решения задач по теории колебаний и волн;
- навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики;
- способами оптимизации и модернизации современных формирующих и излучающих устройств в перспективных диапазонах радиочастот;
- методами решения задач, связанных с анализом случайных процессов, обнаружением сигналов на фоне помех;
- навыками использования программного обеспечения и основными приемами для проведения и обработки экспериментальных данных;
- навыками обращения с компьютерной техникой и применения типовых и разработанных компьютерных программ в указанных областях
- научной картиной мира в радиофизике и смежных областях естествознания;
- творческим подходом в реализации научно-технических задач, основанному на систематическом обновлении полученных знаний, навыков и умений и использовании последних достижений в области радиофизике.

### **5. Объем и вид учебной работы**

Общая трудоёмкость дисциплины «Радиофизика» составляет 5 зач. ед. (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице 1.

Таблица 1

## Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Вид учебной работы	Трудоёмкость					
	зач. ед.	час.	в т.ч. по семестрам			
			3	4	5	6
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>5</b>	<b>180</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>36</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>3</b>	<b>86</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>-</b>
лекции (Л)		86	36	30	18	-
семинары (С)		-	-	6	-	-
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>2</b>	<b>94</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>36</b>
самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала, освоение материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарам и т.д.)		30	14	10	28	-
Подготовка к зачёту		6	2	2	2	-
Подготовка к экзамену		36	-	-	-	36
<b>Вид контроля</b> (З – зачет, Э – кандидатский экзамен)			<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>Э</b>

## 6. Содержание дисциплины

Таблица 2

## Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СР
		Л	С	
<b>Раздел 1. ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ</b>	24	16		8
Линейные и слабонелинейные колебательные системы. Продольные и поперечные типы колебаний Автоколебательная система. Теория нелинейных колебаний. Параметрическое усиление и генерация. Собственные и вынужденные колебания. Распределенные системы. Устойчивость. Хаос.				
<b>Раздел 2. ТЕОРИЯ ВОЛН. РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ДИФРАКЦИЯ, РАССЕЯНИЕ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОЛН В СРЕДАХ</b>	24	16	0	8
Волновые процессы в материальных средах. Диспергирующие среды. Соотношения Крамерса-Кронига. Принцип причинности. Свойства электромагнитных волн в изотропных, анизотропных средах и плазмоподобных средах. Волны в периодических структурах. Волноводы. Резонаторы. Метод Кирхгофа в теории				

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СР
		Л	С	
дифракции. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Нелинейные среды. Ударные волны. Уравнение Кортевега-де-Вриза и синус - Гордона. Солитоны.				
<b>Всего за 3 семестр</b>	<b>48</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>16</b>
<b>Раздел 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОФИЗИКА</b>	36	24	6	6
Случайные величины и процессы. Корреляционные и спектральные характеристики. Теорема Винера-Хинчина. Модели случайных процессов. Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Шумы.				
<b>Раздел 4. ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ</b>	12	6	0	6
Задачи оптимального приема сигнала. Сигнал и шум. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции. Уравнение Винера-Хопфа. Стохастические уравнения. Нелинейная фильтрация.				
<b>Всего за 4 семестр</b>	<b>48</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>12</b>
<b>Раздел 5. ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ ИЗЛУЧЕНИЯ. ПРИНЦИПЫ УСИЛЕНИЯ, ГЕНЕРАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ СИГНАЛАМИ</b>	24	10	0	14
Принцип работы, устройство и параметры лазеров. Оптические резонаторы. Режимы работы лазеров. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров. Волноводы, длинные линии и резонаторы. <i>ТЕ</i> -, <i>ТН</i> - и <i>ТЕМ</i> -волны. Периодические структуры и замедляющие системы. СВЧ – усилители. СВЧ – генераторы. Лампы бегущей и обратной волны. Принципы работы магнетрона и клистрона. Эффект Джозефсона. Акустоэлектрический эффект. Взаимодействия света со звуком. Акустооптика. Электрооптический и магнитооптический эффекты.				
<b>Раздел 6. АНТЕННЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН</b>	24	8	0	16
Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и				

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СР
		Л	С	
коэффициент рассеяния антенны. Антенны ДВ-, СВ- и СВЧ-диапазонов. Фазированные антенные решетки. ЭПР и шумовая температура антенны. Тропосфера. Распространение в ионосфере.				
<b>Всего за 5 семестр</b>	<b>48</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>30</b>
Вопросы для самостоятельного изучения дисциплины по программе кандидатского экзамена по специальности				<b>36</b>
<b>Всего за 6 семестр</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>180</b>	<b>80</b>	<b>6</b>	<b>108</b>

### Раздел 1. Теория колебаний.

Продольные и поперечные типы колебаний Теория нелинейных колебаний. Параметрическое усиление и генерация. Собственные и вынужденные колебания. Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные колебательные системы. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты. Теория нелинейных колебаний. Распределенные системы. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.

Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.

Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.

Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу

### Раздел 2. Теория волн.

Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация.

Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Поле в средах с временной дисперсией. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига и принцип причинности.

Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны. Магнитоактивные среды. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы в магнитном поле; нормальные волны, их поляризация.



Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.

Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.

Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.

Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.

Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргерса для диссипативной среды и свойства его решений. Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования. Волноводы. Резонаторы.

Уравнение Кортевега-де Вриза и синус-Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.

Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.

### **Раздел 3. Статистическая радиофизика**

Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений.

Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.

Спектральный Фурье и вейвлет анализ сигналов. Теорема Парсеваля. ДПФ алгоритмы. Временные окна. Применение вейвлет-анализа. Принцип вейвлет-преобразования. Вейвлетный спектр. Основы вейвлет-преобразования. Непрерывное вейвлет-преобразование. Дискретное вейвлет-преобразование. Частотно-временная локализация вейвлет-анализа. Образное представление преобразования.

Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.

Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).

Марковские и диффузионные процессы. Понятие робастности. Показатель Херста. R/S – анализ временных выборок случайных величин. Оценка согласия с моделью по критерию Колмогорова-Смирнова. Оценка согласия с моделью по критерию Хи-квадрат.

Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение. Суб- и супер- диффузия. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.

Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Фракталы.

### **Раздел 4. Выделение сигналов на фоне помех**

Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез.

Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.

Линейная фильтрация Колмогорова-Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

Линейный фильтр Калмана-Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра. Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова-Винера и Калмана-Бьюси.

Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

## **Раздел 5. Принципы усиления, генерации и управления сигналами**

Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).

Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.

Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.

Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).

Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. ТЕ-, ТН- и ТЕМ-волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.

Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.

Генерация волн в СВЧ-диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.

Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).

Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

## **Раздел 6. Антенны и распространение радиоволн**

Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ, СВ и СВЧ диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.

Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект «замирания». Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и

поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.

### **Раздел 3. Вопросы для самостоятельного изучения дисциплины**

Разделы, рекомендуемые для самостоятельного изучения:

(приводятся разделы, возможен перенос специальных вопросов из основной программы или программы кандидатского экзамена)

**3.1.** Виды микроволнового рассеяния на колебаниях и неоднородностях среды. Рассеяние Брэгга, Томсона. Углы и объем рассеяния.

**3.2.** Интерферометрия. Построение распределения плотности среды (коэффициента преломления) по интерферометрическим измерениям (методом абелизации и др.). Источники погрешностей при интерферометрии.

**3.3.** Рефлектометр как измеритель доплеровского смещения частоты и измеритель скорости движения объекта. Корреляционная рефлектометрия – один из методов исследования плазменной турбулентности с пространственным разрешением. Доплеровская рефлектометрия. Диоды Ганна для диагностики.

**3.4.** Радиофизические методы измерения характеристик плазмы в установках УТС. Принципы СВЧ диагностики коллективного рассеяния для исследования плазменной турбулентности в установках УТС.

**3.5.** Основные устройства дистанционного зондирования: радиозонды, радиолокаторы, радиотелескопы. Пассивные методы дистанционного зондирования.

#### **3.6. Плазменная радиофизика**

Дополнительный перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины «радиофизика» формируется научным руководителем аспиранта и утверждается аспирантской комиссией.

### **Раздел 4. Вопросы для самостоятельного изучения дисциплины по программе кандидатского экзамена по специальности**

Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины «Радиофизика» при подготовке к кандидатскому экзамену по специальности соответствует программе кандидатского экзамена по специальности «Радиофизика», утвержденной Ученым советом ИОФ РАН (протокол №\_\_ от «\_\_»\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.).

#### **7. Примерная тематика:**

##### **7.1. Курсовых работ**

Не предусмотрено учебным планом

##### **7.2. Научно-исследовательских работ и проектов**

Не предусмотрено учебным планом

##### **7.3. Рефератов**

Не предусмотрено учебным планом. Однако при составлении индивидуального плана аспиранта возможно написание рефератов по следующим темам:

1. Использование вейвлет-анализа данных в медицине.
2. Использование вейвлет-анализа в биологии.
3. Использование вейвлет-анализа для обработки изображений.
4. Применение вейвлет-анализа для обработки данных методов неразрушающего контроля.
5. Реляционные базы данных в програмно-аппаратных комплексах сбора информации.
6. Оценка стохастических сигналов методом периодограмм.

7. Радиофизические бесконтактные диагностики в установках управляемого термоядерного синтеза.
8. Программно-аппаратные комплексы сбора данных больших физических установок.
9. Радиотехнические системы экологического мониторинга.
10. Применение вейвлет-анализа для обработки данных экологического мониторинга.
11. Программно-аппаратные радиотехнические комплексы сейсмического мониторинга.
12. Обработка данных радиотехнических систем в сейсмологии.
13. Вейвлет-анализ данных в экономике.
14. Применение вейвлет-анализа для обработки данных в материаловедении.
15. Использование вейлет-анализа для обработки акустических сигналов.
16. Корреляционный анализ стохастических сигналов радиотехнических систем.

## **8. Ресурсное обеспечение.**

### **8.1. Кадровый потенциал**

Аспирантура ИОФ РАН располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по специальности 1.3.4. Радиофизика в соответствии с ФГТ.

### **8.2. Материально-техническое оснащение.**

Для проведения занятий по дисциплине «Радиофизика», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам, обеспечивающая проведение всех видов теоретической и практической подготовки:

- аудитории для лекционных и семинарских занятий, оснащенные презентационным оборудованием (ноутбук, проектор, экран) и маркерными досками;
- оборудование для проведения лекционных и семинарских занятий в дистанционном формате (в случае необходимости);
- лицензионное программное обеспечение для демонстрации презентаций в формате PowerPoint, OpenOffice или Portable Document Format.
- учебная литература и методические материалы для проведения самостоятельной работы по дисциплине.

### **8.3. Образовательные технологии**

При реализации различных видов учебной работы (лекции, семинары, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- лекционная система обучения;
- информационно-коммуникационные технологии;
- исследовательские методы в обучении.

Программа дисциплины «Радиофизика» предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной самостоятельной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков у обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- создание диалогического пространства в организации учебного процесса;
- использование принципов социально-психологического обучения в учебной и научной деятельности;
- применение интерактивных форм обучения, направленных на развитие внутренней активности аспиранта, стимулирование мотивации и интереса в области углубленного изучения радиофизики в общеобразовательном и профессиональном плане; повышение

уровня активности и самостоятельности научно-исследовательской работы; развитие навыков анализа, критичности мышления, научной коммуникации.

Образовательные технологии предполагают проведение занятий в форме лекций с объяснением теоретического материала, семинаров с разбором лекционного материала и решением задач и самостоятельную работу. Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе и самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях.

На занятиях может использоваться промежуточный контроль в виде решения задач по лекционному и семинарскому материалу.

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

### **9.1. Основная литература**

#### **9.1.1. Электронные учебные издания (учебники, учебные пособия).**

#### **9.1.2. Электронные базы данных, к которым обеспечен доступ.**

- Интернет-ресурсы научно-технической библиотеки ИОФ РАН  
<https://www.gpi.ru/about/library/education/>

- Научная электронная библиотека [elibrary.ru](http://elibrary.ru);

- Электронные базы Web of Science и SCOPUS;

- Журналы по физике конденсированного состояния и наноматериалам (Известия ВУЗов. Радиофизика, Электроника, Нелинейная динамика, ЖЭТФ, Письма в ЖЭТФ, Успехи физических наук, и др.);

- Научные и научно-технические журналы издательств Наука, American Physical Society, American Institute of Physics, Institute of Physics, Nature, Springer Verlag, база данных Web of Science.

- Единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/window/>
- Федеральный портал «Российское образование»: <http://www.edu.ru/>
- Фонд знаний «Ломоносов» - <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:012904>
- [www.phys.web.ru](http://www.phys.web.ru)
- [www.sciteclibrary.ru](http://www.sciteclibrary.ru)
- [www.fizmodel.narod.ru](http://www.fizmodel.narod.ru)
- [www.n-t.ru](http://www.n-t.ru)
- [www.e-science.ru](http://www.e-science.ru)
- [www.physics.org](http://www.physics.org)
- [metod-f.narod.ru](http://metod-f.narod.ru)
- [www.erudition.ru](http://www.erudition.ru)
- <http://www.inp.nsk.su/chairs/plasma/sk/fpl.ru.shtml>
- <http://geoin.org/>
- <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1168530&uri=kurt.html>
- <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/plasma.htm>
- <http://www.inp.nsk.su/chairs/plasma/sk/fpl.ru.shtml>
- [plasma-gate.weizmann.ac.il](http://plasma-gate.weizmann.ac.il)
- [ippex.pppl.gov](http://ippex.pppl.gov)
- [www.plasmaphysics.org.uk](http://www.plasmaphysics.org.uk)
- [www.iter.org](http://www.iter.org)
- [http://www.nag.co.uk/about\\_nag.asp](http://www.nag.co.uk/about_nag.asp)
- <http://mipt.ru/newsblog/>
- [www.grany.ru/Society/Science/](http://www.grany.ru/Society/Science/)

### 9.1.3. Учебники

1. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. — М.: Либроком, 2010. — 544с.
2. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. - М.: Физматлит, 2001. — 558с.
3. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука, 1990. — 383с.
4. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984— 432с.
5. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики. М.: Наука, 1981. — 400с.
6. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981. — 640с.
7. Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. М.: Радио и связь, 1976. — 352с.
8. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. — 608с.
9. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987. — 455с.
10. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. М.: Мир, 1990. — 652с.
11. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. — М.: Горячая линия — Телеком, 2003. — 558с.
12. Электромагнитные поля и волны: учеб, пособие / Замотринский В.А., Соколова Ж.М., Падусова Е.В., Шангина Л.И. — Томск: Томск, гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. — 188 с.
13. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. — М.: Радио и связь, 1988. — 440с.
14. Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн / Под. ред. В.А. Неганова и С.Б. Раевского. — М.: Радиотехника, 2005. — 648 с.
15. Рухадзе А.А., Игнатов А.М., Гусейн-заде Н.Г., Введение в электродинамику плазмы - М. Издательство МИРЕА, 2007.-180с.

### 9.1.4. Учебные пособия

1. Будагян И.Ф., Дубровин В.Ф., Сигов А.С. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие. - М: МИРЭА, 2014. – 200с.
2. Скворцова Н.Н., Шестаков О.В., Малахов Д.В., Методы численного анализа стохастических сигналов. Методические указания по выполнению лабораторных работ, М: Изд-во МИРЭА, 2011. -60с

### 9.2. Дополнительная литература

1. Андронов А.А, Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981. — 568 с.
2. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988. - 391 с.
3. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988. — 368 с.:
4. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974. - 503с.
5. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. (Ч. 1: Случайные процессы) Учеб. пособие для вузов — М.: Наука, 1976. – 404 с.

6. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2: Случайные поля. М.: Наука, 1978. - 463 с.
7. Гауер Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989. — 504 с.
8. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. Теория и методы расчета. — М.: Сов. радио, 1974. — 232 с.
9. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. — 280 с.
10. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981. - 540 с.
11. Звелто О. Принципы лазеров: Учеб. пособие для вузов — СПб.: Лань, 2008. — 719 с.
12. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Сов. радио, 1973. — 399 с.
13. Зверев В.А. Радиооптика. М.: Сов. радио, 1975. — 304 с.
14. Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах. М.: Мир, 1986. — 398 с.
15. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009 - 240с
16. Марпл-мл. С.П., Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990 – 265 с.
17. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: Пер. с англ. / Ж. Макс. — М.: Мир, 1983 Т.1, -312с; Т.2. -256с. .
18. Айфичер Эммануил С. Цифровая обработка сигналов: Практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис. — М.: Вильямс, 2008. — 989 с.
19. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1983. — 320 с.
20. Штыков В.В. Квантовая радиофизика, М.: Изд-во: Academia, 2009. -336 с.
21. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. - 653 с.
22. Ландау Л. В., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Т. V, Ч. 1. М.: Наука, 2002.- 616 с.
23. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. М.: Наука, 1999.- 496 с.
24. Rukhadze A.A., Alexandrov A.F., Bogdankevich L.S. Principles of Plasma Electrodynamics, М.: Красанд, 2013. – 504с.
25. Специальные разделы физики /Под ред. Н.Г. Гусейн-заде, М.:Изд-во МИРЭА, 2011. -196 с.
26. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику, М.: Изд-во: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 656 с.
27. Потемкин В.В., Радиофизика, Издательство МГУ, 1988. - 264с. / 2012. - 131 с.
28. Кравченко В.Ф., Лабунько О.С., Лерер А.М., Синявский Г.П., Вычислительные методы в современной радиофизике, М.: Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2009. -464 с.
29. Стрекалов А.В., Стрекалов Ю.А. Электромагнитные поля и волны. Учебное пособие. – М.: Инфра-М, РИОР, 2014. – 375 с.
30. Уфимцев П.Я. Теория дифракционных краевых волн в электродинамике. Введение в физическую теорию дифракции. Изд-во: Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 371 с.
31. Покровский В.В. Электромагнетизм: Методы решения задач: Учеб. пособие для вузов. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 119 с.
32. Устройства СВЧ и антенны: Учеб. для вузов / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев; Под ред. Д. И. Воскресенского. — М.: Радиотехника, 2006. — 376 с.

33. А.А. Короновский, А.Е. Храмов. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. Москва. Физматлит. 2003.
34. Нагорнов О.В., и др. Вейвлет-анализ в примерах: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с.
35. Кузелев М.В., "Волновые явления в средах с дисперсией", 2020 г Ленанд, 618с
36. Кузелев М.В., Рухадзе А.А. "Методы теории волн в средах с дисперсией" 2007, М.: Физматлит Москва, ISBN 978-5-9221-0767-9, 270 с.

#### **9.2.1. Учебно-методические пособия (учебные задания)**

1. Сковрцова Н.Н., Шестаков О.В., Малахов Д.В., Методы численного анализа стохастических сигналов. Лекции, М: Изд-во МИРЭА, 2011. -108с

#### **9.2.2. Литература для углубленного изучения, подготовки рефератов**

1. Будагян И.Ф., Илюшечкин М.Н., Щучкин Г.Г. Анализ формы наносекундных сигналов. Излучение и распространение: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 132 с.
2. Дубровин В.Ф., Будагян И.Ф. Исследование волновых процессов. Методы, технологии и результаты: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2015. – 125 с.

**10. Аттестация по дисциплине.** Форма промежуточной аттестации по итогам обучения в 3, 4 и 5 семестрах – зачет, процедура аттестации в 3 и 4 семестрах включает решение контрольных задач и ответ на вопросы, в 5 семестре – ответ на вопросы.

Итоговая аттестация по дисциплине включает сдачу кандидатского экзамена экзаменационной комиссии, утвержденной локальным нормативным актом ИОФ РАН.

### **11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

#### **11.1 Оценочные средства текущего контроля успеваемости и сформированности компетенций**

Для текущего контроля успеваемости применяется комплекс методик и диагностического инструментария: устный опрос, решение домашних задач по теме занятий, учет посещаемости занятий и активности аспирантов в ходе занятий.

#### **11.2 Примерный перечень вопросов к зачету по дисциплине**

Понятие и типы сигналов сигнала. Шумы и помехи. Размерность сигналов. Математическое описание сигналов. Спектральное представление сигналов. Классификация сигналов. Преобразования типа сигналов. Автокорреляционные функции сигналов. Понятие автокорреляционных функций (АКФ). АКФ сигналов, ограниченных во времени. Функции автоковариации. АКФ периодических, дискретных и случайных сигналов. Взаимокорреляционные функции сигналов (ВКФ). Интервал корреляции сигнала. Спектральные плотности корреляционных функций. Спектральная плотность АКФ. Спектральная плотность ВКФ. Разложение сигналов по гармоническим функциям. Понятие собственных функций. Ряды Фурье. Тригонометрическая форма. Основные свойства преобразований Фурье. Линейность. Свойства четности. Изменение аргумента функции. Теорема запаздывания. Преобразование производной. Преобразование интеграла. Преобразование свертки. Преобразование произведения. Фурье-спектры мощности. Равенство Парсеваля. Функции



корреляции и спектры АМ, ФМ и ЧМ модулированных случайных процессов. Огибающая, фаза, квадратурные компоненты квазигармонического случайного процесса.

Принцип вейвлет-преобразования. Вейвлетный спектр. Основы вейвлет-преобразования. Непрерывное вейвлет-преобразование. Дискретное вейвлет-преобразование. Частотно-временная локализация вейвлет-анализа. Образное представление преобразования.

Достоинства и недостатки вейвлетных преобразований. Практическое использование. Базисные функции вейвлет-преобразования. Определение вейвлета. Свойства вейвлета. Отображение преобразования. Вейвлетные функции.

Случайные процессы. Функции математического ожидания, дисперсии, куртозиса, эксцесса. Флуктуации в радиотехнических системах. Формула Найквиста.

Дробовой шум. Формула Шотки.

Плотности распределения вероятности случайных процессов: Гаусса, Лапласа, Коши, Пуассона, автомодельного. Оценка гистограмм

Спектр функций случайных процессов. Взаимные спектральные функции. Теорема Винера-Хинчина.

Оценка согласия с моделью по критерию Колмогорова-Смирнова. Оценка согласия с моделью по критерию Хи-квадрат.

1. Какие процессы называются эргодическими? Возможна ли экспериментальная проверка гипотезы эргодичности
2. Автокорреляционные функции сигналов. Понятие автокорреляционных функций (АКФ). АКФ сигналов, ограниченных во времени. Функции автоковариации.
3. Автокорреляционные функции периодических, псевдослучайных и случайных сигналов.
4. Дать определение коэффициенту взаимной корреляции двух сигналов. Означает ли некоррелированность сигналов, измеренных в разных пространственных областях плазмы их независимость?
5. Фурье-спектры мощности. Равенство Парсеваля.
6. Фурье-спектры некоторых сигналов. Единичные импульсы. Спектр прямоугольного импульса.
7. Дать определение косвенного и прямого метода определения Фурье-спектра. Почему необходимо учитывать оператор математического ожидания при оценке Фурье-спектра стохастического сигнала методом периодограмм?
8. Обосновать необходимость использования весовых функций для спектрального анализа стохастических сигналов. Явление Гиббса.
9. Алгоритм Вэлча и необходимость его использования для оценки стохастических сигналов методом периодограмм.
10. Квадратурная схема измерения. Фурье-спектр сигнала доплеровского рефлектометра. Пример двумерного спектра.
11. Базисные функции вейвлет-преобразования. Определение вейвлета. Свойства вейвлета. Отображение преобразования. Вейвлетные функции.
12. Случайные процессы. Функции математического ожидания, дисперсии, куртозиса, эксцесса.
13. Электромагнитное поле и его основные характеристики.
14. Историческая справка о развитии представлений об электромагнитном поле.
15. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме.
16. Уравнения Максвелла в интегральной форме.

17. Материальные уравнения.
18. Условия на границе раздела сред для векторов электромагнитного поля.
19. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной и интегральной формах.
20. Общее уравнение баланса энергии электромагнитного поля.
21. Плотность электрической и магнитной энергий. Вектор Пойнтинга.
22. Перенос энергии и групповая скорость в электромагнитном поле.
23. Комплексные амплитуды поля.
24. Уравнения Максвелла для монохроматических полей.
25. Комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемость среды.
26. Уравнения баланса энергии для комплексной мощности.
27. Теоремы об активной и реактивной мощностях.
28. Теоремы единственности для монохроматического электромагнитного поля.
29. Лемма Лоренца.
30. Теоремы взаимности для электрического и магнитного диполей.
31. Принцип двойственности.
32. Плоские электромагнитные волны в неограниченной среде.
33. Цилиндрические электромагнитные волны в неограниченной среде.
34. Сферические электромагнитные волны в неограниченной среде.
35. Виды поляризации электромагнитных волн.
36. Основные характеристики волнового процесса.
37. Классификация и параметры сред.
38. Распространение волн в однородных поглощающих средах.
39. Распространение волн в неоднородных средах.
40. Распространение волн в анизотропных средах.
41. Среда с частотной и пространственной дисперсией.
42. Киральные среды. Метаматериалы.
43. Особенности распространения сигналов наносекундной длительности.
44. Нормальное падение плоских волн на плоскую границу раздела двух сред, их преломление, отражение и интерференция.
45. Наклонное падение плоских волн на плоскую границу раздела двух сред, их преломление, отражение и интерференция.
46. Законы Снеллиуса и формулы Френеля.
47. Полное преломление и полное внутреннее отражение плоских волн на плоской границе раздела двух сред. Волны, направляемые границей раздела.
48. Поверхностный эффект на границе с проводящей средой (поверхностное сопротивление, глубина проникновения поля в проводник, приближенные граничные условия Леонтовича).
49. Классификация направляемых волн.
50. Решение уравнения Гельмгольца методом разделения переменных.
51. Уравнения Гельмгольца и краевые задачи.
52. Собственные функции и собственные значения.
53. Быстрые и медленные волны.
54. Типы волн и их критические частоты.
55. Фазовые и групповые скорости волн в волноводе. Дисперсия волн. Волновые сопротивления Е- и Н-волн.
56. Волновые процессы в прямоугольных металлических волноводах.
57. Волновые процессы в круглых металлических волноводах.
58. Затухание волн в металлических волноводах.
59. Мощность, переносимая волной по волноводу.
60. Волновые процессы в коаксиальных волноводах.
61. Волновые процессы в полосковых линиях передачи.
62. Волновые процессы в некоторых видах периодических структур.

63. Общие принципы построения объемных резонаторов.
64. Определение резонансной частоты и добротности резонатора.
65. Закрытые и открытые резонаторы.
66. Призматические, цилиндрические и коаксиальные резонаторы.
67. Структура электромагнитного поля для различных типов колебаний в резонаторах.
68. Сочетание методов электродинамики и теории цепей при расчете СВЧ устройств.
69. Функция Грина и решение неоднородного уравнения Гельмгольца.
70. Элементарные излучатели (электрический и магнитный диполи).
71. Обобщенная задача об излучении, метод Гюйгенса-Кирхгофа.
72. Теорема запаздывающих потенциалов.
73. Зоны Фраунгофера и Френеля; анализ структуры поля.
74. Принципы формирования направленного излучения электромагнитных волн.
75. Вопросы электромагнитной совместимости.

### **11.3 Примерный перечень задач к зачету по дисциплине**

1. Оценка комплексных спектров по двум каналам доплеровского рефлектометра. Нормировка, временные окна, сглаживание. Определение скорости вращения по комплексному Фурье-спектру.
2. Виды микроволнового рассеяния на колебаниях и неоднородностях среды. Рассеяние Брэгга, Томсона. Углы и объем рассеяния.
3. Частотные диапазоны излучений, применяемых в диагностиках рассеяния – угловые и энергетические характеристики в зависимости от частоты. Пространственное разрешение и разрешение по масштабам неоднородностей (волновым числам).
4. Необходимость фильтрации шумов для получения достоверных сигналов ПАС (на примере радиофизической диагностики доплеровской рефлектометрии).

### **12. Методические рекомендации аспирантам по освоению дисциплины**

Аспиранты должны быть заранее ознакомлены с графиком учебного процесса, содержанием дисциплины и методикой проведения занятий. Посещаемость учебных занятий является обязательной для обучающихся, как и ведение конспектов, записей. Отработка пропущенных занятий предполагает самостоятельную работу аспиранта с учебной литературой и осуществляется в форме собеседования по теме пропущенного занятия.

### **13. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине**

#### **13.1 Порядок проведения лекции**

*Вводная часть* включает формулировку темы лекции с краткой аннотацией предлагаемых для изучения вопросов, характеристику места и значения данной темы в курсе.

*Основная часть* лекции имеет своей целью раскрытие содержания основных вопросов и определяется логической структурой плана лекции.

В *заключительной части* лектор проводит обобщение наиболее важных и существенных вопросов, делает выводы, отвечает на вопросы слушателей, формулирует задачи для самостоятельной работы аспирантов и рекомендует соответствующую литературу.

#### **13.2 Порядок проведения семинара**

Во вводной части решаются организационные задачи семинарского занятия: проверка готовности аудитории и подготовленности аспирантов к занятию, формулировка темы, цели и задач занятия.

Основная часть занятия предполагает организацию дискуссии: постановку проблемы, выделение основных направлений. Выступление докладчиков, раскрывающих основные положения по вопросу. Выступления оппонентов, раскрывающих свое видение проблемы, дискуссия по докладу.

В заключительной части подводятся итоги занятия, дается оценка результатов работы аспирантов.

### **13.3 Организация самостоятельной работы аспирантов**

Основными формами самостоятельной работы и контроля аспирантов являются:

Выполнение индивидуальных заданий (как репродуктивного, так и творческого характера), позволяющих диагностировать уровень сформированности у аспирантов знаний, умений и навыков по дисциплине.

Собеседование – форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя с аспирантом, рассчитанная на выяснение объема знаний аспиранта по определенному разделу, теме, проблеме и т.п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающее всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

## **14. Описание критериев оценивания знаний обучаемых, шкал их оценивания**

### **14.1. Критерии оценивания знаний обучаемых на зачете по дисциплине:**

Оценка «Зачтено»: Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий и контрольных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Оценка «Не зачтено»: Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании аспирантуры к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### **14.2. Критерии оценивания знаний обучаемых на кандидатском экзамене по специальности:**

Оценка ставится по каждому из вопросов кандидатского экзамена по специальности, оценка за экзамен определяется как среднее арифметическое из оценок по трем вопросам экзамена с соответствующим округлением до целочисленной по правилам арифметических операций. При наличии оценки «неудовлетворительно» по одному из вопросов ставится общая оценка «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично»: В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Продемонстрировано превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены полные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Хорошо»: Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Продемонстрировано хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены частичные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Удовлетворительно»: Тема раскрыта частично. Ответ структурирован недостаточно. Понятийный аппарат освоен частично. Продемонстрировано понимание отдельных положений из материала по теме. Продемонстрированы удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены фрагментарные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Неудовлетворительно»: Тема не раскрыта. Ответ не структурирован. Понятийный аппарат освоен в недостаточном объеме. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Продемонстрировано неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Не представлены ответы на дополнительные вопросы по теме.

Программу разработали:

Гусейн – заде Н.Г., д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Скворцова Н.Н., д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_  
(подпись)