

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор
Проректор по научной деятельности

_____ Д.А. Тагорский

« 26 » _____ 2025 г.



Программа кандидатского экзамена по научной специальности

1.3.4 Радиофизика

Цель и задачи кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.4 Радиофизика.

Цель.

Кандидатские экзамены являются составной частью аттестации научных и научно-педагогических кадров. Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний соискателей ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе. Сдача кандидатских экзаменов обязательна для присуждения ученой степени.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки соискателя, знание общих концепций и методологических вопросов соответствующей науки, истории её формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

Задачи.

- углубленных представлений об общих радиофизических закономерностях колебательно-волновых процессов (как линейных, так и нелинейных) в системах различной физической природы;

- подготовленности аспирантов к профессиональной деятельности в таких областях как электродинамика, нелинейная динамика сложных пространственно-временных процессов и систем;

- у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленностью подготовки 1.3.4 «Радиофизика»

Основные требования.

Основным требованием допуска к сдаче кандидатского экзамена является наличие подписанного заявления и утвержденной дополнительной программы кандидатского экзамена.

Сдача кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с календарным учебным графиком и индивидуальным учебным планом аспиранта. Кандидатские экзамены у прикрепленных лиц принимаются в период, установленный приказом ректора КФУ. В случае представления диссертации в совет по защите на соискание ученой степени кандидата наук, возможен прием кандидатских экзаменов вне сроков сессии.

Порядок проведения кандидатского экзамена.

Кандидатский экзамен по специальности проводится в форме экзамена на основе биле-тов. В каждом экзаменационном билете 2 вопроса по основной программе и 1 вопрос по дополнительной программе. Дополнительная программа утверждается на Ученом совете Института физики для каждого аспиранта персонально со списком вопросов по теме диссертационного исследования аспиранта. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 5 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Критерии оценивания.

Оценка соискателю за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями:

Отлично (5 баллов)

Соискатель обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

Хорошо (4 балла)

Соискатель обнаружил полное знание вопросов физики, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

Удовлетворительно (3 балла)

Соискатель обнаружил знание основ физики в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Неудовлетворительно (2 и менее баллов)

Соискатель обнаружил значительные пробелы в знаниях основ физики, допустил принципиальные ошибки в выполнении тестовых заданий и не способен продолжить обучение по физике.

Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.4 Радиофизика.

1. Теория колебаний

1. Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные колебательные системы.
2. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.
3. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.
4. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля, метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.
5. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.
6. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.
7. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.
8. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.
9. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.
10. Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.
11. Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном)

аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу. **2. Теория волн**

1. 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.

2. 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. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига и принцип причинности.

3. 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.

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

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

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

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

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

9. 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.

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

3. Статистическая радиофизика

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

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

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

4. 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).

5. Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка.

6. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.

7. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Дифракция регулярной волны на случайном фазовом экране. Тепловое электромагнитное поле. Теорема взаимности.

8. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.

9. Взаимодействие случайных волн. Генерация второй оптической гармоники, самофокусировка и самомодуляция частично когерентных волн. Преобразование спектров шумовых волн в нелинейных средах без дисперсии.

4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами

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

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

3. 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.

4. Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).

5. 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.

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

7. 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.

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

9. 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.

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

5. Антенны и распространение радиоволн

1. 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.

2. 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.

6. Выделение сигналов на фоне помех

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

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

3. 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.
4. 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.
5. Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

**Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 1.3.4
Радиофизика.**

Основная литература.

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — Том 1: Механика. — 2020. — 560 с. — ISBN 978-5-9221-1512-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185713> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 2: Термодинамика и молекулярная физика. — 2021. — 544 с. — ISBN 978-5-9221-1514-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185719> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020 — Том 3: Электричество — 2020. — 565 с. — ISBN 978-5-9221-1643-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185725> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Ахманов, С. А. Статистическая радиофизика и оптика: учебное пособие / С. А. Ахманов, Ю. Е. Дьяков, А. С. Чиркин. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 423 с. — ISBN 978-5-9221-1204-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/48263> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Ботов, М. И. Введение в теорию радиолокационных систем [Электронный ресурс] : монография / М. И. Ботов, В. А. Вяхирев, В. В. Девогач; ред. М. И. Ботов. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 394 с. - ISBN 978-5-7638-2740-8. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/492976> (дата обращения: 14.02.2023). – Режим доступа: по подписке.

Дополнительная литература.

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие / Д. В. Сивухин. — 3-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 4: Оптика. — 2002. — 792 с. — ISBN 5-9221-0228-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2314> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 3-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — Том 5: Атомная и ядерная физика — 2020. — 784 с. — ISBN 978-5-9221-0645-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185730> (дата обращения:

14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Соколова, Д. О. Статистическая теория радиотехнических систем. Обнаружение и различение сигналов: учебное пособие / Д. О. Соколова, А. А. Спектор. — Новосибирск: НГТУ, 2022. — 111 с. — ISBN 978-5-7782-4687-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/306071> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Карлов, Н. В. Колебания, волны, структуры / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 498 с. — ISBN 5-9221-0205-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2192> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Буянов, Ю. И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: учебное пособие / Ю. И. Буянов, Г. Г. Гошин. — Москва: ТУСУР, 2013. — 300 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110376> (дата обращения: 14.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Информационное обеспечение.

1. Образовательный проект А.Н. Варгина - <http://physics-for-students.ru/>
2. Библиотека Library Genesis - <https://libgen.li/>
3. Сайт кафедры теоретической физики КФУ - <http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-teoreticheskoj-fiziki>
4. Поисковик электронных книг - <http://www.poiskknig.ru>
5. Сайт Научной библиотеки им. Н. И. Лобачевского - <http://kpfu.ru/library>
6. Электронная библиотека «Наука и техника» - <http://n-t.ru>
7. Научно-популярный сайт «Элементы большой науки» - <http://elementy.ru>
8. Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ - <http://lib.mexmat.ru>