

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по ОД

Е.В. Луков

« 15 » декабря 2022г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности

1.3.4. «Радиофизика»

Томск 2022

Программа кандидатского экзамена по научной специальности **1.3.4.**
«Радиофизика» рассмотрена и рекомендована к утверждению ученым советом
радиофизического факультета
протокол № 10 от 13.12.2022

Авторы-разработчики:

1. Суханов Дмитрий Яковлевич, доктор физ.-мат. наук, без звания, профессор
2. Беличенко Виктор Петрович, доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор

Согласовано:

Руководитель ОП



Суханов Дмитрий Яковлевич

Общие положения

На основании постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» кандидатские экзамены сдаются в соответствии с научной специальностью (научными специальностями) и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее – Минобрнауки России), по которым осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени к проведению научных исследований по научной специальности 1.3.4. «Радиофизика» и по соответствующей отрасли науки (далее – кандидатский экзамен).

Программа кандидатского экзамена разработана на основе Паспорта научной специальности 1.3.4. «Радиофизика» (далее Программа), утвержденного ВАК при Минобрнауки России.

Организация и проведение приема кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с установленным в НИ ТГУ порядком.

Подготовка по Программе может осуществляться как самостоятельно, так и в рамках освоения соответствующей программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре НИ ТГУ. Сдача аспирантом кандидатского экзамена является обязательным условием обучения и относится к оценке результатов освоения базовой дисциплины (модуля) образовательного компонента программы, осуществляемой в рамках промежуточной аттестации.

2. Структура кандидатского экзамена и шкала оценивания уровня знаний

Кандидатский экзамен проводится в форме устного экзамена по билетам продолжительностью один академический час и состоит из следующих частей:

Основные вопросы (не более трёх вопросов по содержанию курса «Радиофизика»).

Дополнительные вопросы (не более трёх вопросов из 2-го раздела содержания Программы).

Оценка уровня знаний по каждому вопросу осуществляется по пятибалльной шкале со следующим принципом перерасчета:

«отлично» - 5 баллов;

«хорошо» - 4 балла;

«удовлетворительно» - 3 балла;

«неудовлетворительно» - 1-2 балла.

При оценивании ответов на каждый из вопросов экзаменационного билета учитываются следующие критерии:

Ответ на вопрос исчерпывающий, продемонстрировано понимание и знание сути вопроса в полном объеме. Замечаний нет.	5 баллов
Ответ на вопрос неполный, но раскрывающий основную суть вопроса, продемонстрировано понимание и знание вопроса в достаточном объеме. Замечания незначительные.	4 балла
Ответ неполный с существенными замечаниями, знания по вопросу фрагментарные и частичные, в том числе и по тематике диссертационного исследования.	3 балла
Ответ на вопрос отсутствует или дан неправильный	1-2 балла

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии:

«отлично» при наличии не менее 80% 5-балльных ответов и отсутствии 3-2-1-балльных ответов;

«хорошо» при наличии не менее 80% 4-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«удовлетворительно» при наличии более 20% 3-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«неудовлетворительно» при наличии 1-2 балльного ответа (или отказа отвечать на вопрос).

3. Перечень тем и вопросов для подготовки к сдаче экзамена

Раздел 1. Основные вопросы.

Программа кандидатского экзамена разработана на основе Паспорта научной специальности «1.3.6. Оптика» (далее – Программа), утвержденного ВАК при участии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Московского физико-технического института (государственного университета).

Тема 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.

Тема 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. Поле в средах с временной. 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 Бюргерса 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.

Тема 3. Статистическая радиофизика

1. Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. 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.

Тема 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. TE -, TH - и TEM -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.

Тема 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.

Тема 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.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Н. В. Карлов, Н.А. Кириченко. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001.
2. М. Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. Теория волн. – М.: Наука, 1990.
3. М. И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Основы теории колебаний и волн. – М.: Наука. 1987.
4. Н. Н. Моисеев. Асимптотические методы нелинейной механики. – М.: Наука, 1981
5. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. Введение в статистическую радиофизику и оптику. – М.: Наука, 1981.
6. Н. М. Цейтлин. Антенная техника и радиоастрономия. – М.: Радио и связь, 1976.
7. В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.
8. А. Ярив, П.Юх. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987.
9. Г. Кайно. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. – М.: Мир, 1990.
10. В. В. Никольский, Т.И. Никольская. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989.
11. Якубов В.П. Электродинамика, учебное пособие, Томск: Изд-во НТЛ., 2006.

12. Якубов В.П. Статистическая радиофизика: Учебное пособие. Томск: Изд-во НТЛ, 2006.

Дополнительная литература

1. А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. Теория колебаний. – М.: Наука, 1981.
2. В. В. Мигулин, В. И. Медведев, Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин. Основы теории колебаний. – М.: Наука, 1988.
3. Г. М. Заславский, Р. З. Сагдеев. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. – М.: Наука, 1988.
4. Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974.
5. С. М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976.
6. С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Татарский. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. – М.: Наука, 1978.
7. Дж. Гауер. Оптические системы связи. – М.: Радио и связь, 1989.
8. Л. Д. Бахрах, С. Д. Кременецкий. Синтез излучающих систем. – М.: Радио и связь, 1974.
9. В. И. Балакший, В. Н. Парыгин, Л. Е. Чирков. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.
10. Ф. Качмарек. Введение в физику лазеров. – М.: Мир, 1981.
11. Л. А. Вайнштейн, В. А. Солнцев. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М.: Сов. радио, 1973.
12. В. А. Зверев. Радиооптика. – М.: Сов. радио, 1975.
13. М. Букингем. Шумы в электронных приборах и системах. – М.: Мир, 1986.
14. Н. В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. – М.: Наука, 1983.
15. Б. Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989.
17. Л. В. Ландау, Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. – М.: Наука, 1999, том V, часть 1.
18. Е. Л. Фейнберг. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Наука, 1999.

Раздел 2. Дополнительные вопросы (по области исследования паспорта научной специальности 1.3.4. «Радиофизика»).

Область исследования: 1. Разработка физических основ генерации, усиления и преобразования колебаний и волн различной природы (электромагнитных, акустических, плазменных, механических), а также автоволн в неравновесных химических и биологических системах. Поиски путей создания высокоэффективных источников когерентного излучения миллиметрового, субмиллиметрового и оптического диапазонов, техническое освоение новых диапазонов частот и мощностей.

Вопросы:

1. Обобщённая схема генератора монохроматических сигналов.
2. Принцип работы магнетрона.
3. Генератор с фазовой автоподстройкой частоты.

Рекомендуемая литература

1. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М.: Сов. Радио, 1973.
2. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. – М.: Мир, 1981.
3. Бодиловский В.Г. Полупроводниковые и электровакуумные приборы в устройствах автоматики, телемеханики и связи. 1986.djvu.

Область исследования: 2. Изучение линейных и нелинейных процессов излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах.

Вопросы:

1. Дифракция радиоволн на отверстиях в плоском экране.
2. Прохождение радиоволн через плоско-слоистую среду, коэффициенты отражения и прохождения.
3. Люксембург-Горьковский эффект.

Рекомендуемая литература

1. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989.
2. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. 1973

3. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. Изд. 3. 2015. 688 с.

Область исследования: 3. Разработка и исследование новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов: резонаторов, волноводов, фильтров и антенных систем в радио, оптическом и ИК – диапазоне.

Вопросы:

1. Микрополосковые фильтры.
2. Полупроводниковые генераторы сверхвысокочастотных сигналов.
3. Фемтосекундные лазеры.

Рекомендуемая литература

1. Jia-Sheng Hong, M. J. Lancaster. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications / John Wiley & Sons, Inc. 2001. Print ISBN:9780471388777 Online ISBN:9780471221616 |DOI:10.1002/0471221619.
2. Eric L. Holzman. Solid-State Microwave Power Oscillator Design / Artech House Publishers: Artech House Microwave Library. First Edition. 1992. 480 p. ISBN-10 : 0890064873. ISBN-13 : 978-0890064870.
3. Херман Й, Вильгельми Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир 1981. – 368 с.

Область исследования: 4. Исследование флуктуаций, шумов, случайных процессов и полей в сосредоточенных и распределенных стохастических системах (статистическая радиофизика). Создание новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех. Разработка статистических основ передачи информации. Исследование нелинейной динамики, пространственно-временного хаоса и самоорганизации в неравновесных физических, биологических, химических и экономических системах.

Вопросы:

1. Рассеяние волн на шероховатой поверхности.
2. Применение детерминированного хаоса для передачи информации.

3. Дифракция на случайном пространственно неоднородном фазовом экране.

Рекомендуемая литература

1. С. М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976.
2. С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Татарский. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. – М.: Наука, 1978.
3. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. Введение в статистическую радиофизику и оптику, – М.: Наука, 1981.
4. Короновский А.А., Москаленко О.И., Храмов А.Е. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации // УФН. 2009. Т. 179. №12. С. 1281–1310.

Область исследования: 5. Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач, а также методах дистанционного мониторинга геосферы, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы. Радиоастрономические исследования ближнего и дальнего космического пространства.

Вопросы:

1. Метод миграции во временной области для радиотомографии.
2. Метод Столга.
3. Трансмиссионная радиотомография.

Рекомендуемая литература

1. Якубов, В.П., Шипилов, С.Э., Суханов, Д.Я., Клоков А.В., Радиоволновая томография: достижения и перспективы / Томск: НТЛ. 2016 г. 264 с.
2. Matteo Pastorino. Microwave Imaging / Wiley Online Library. 2010

Область исследования: 6. Разработка физических основ новых волновых технологий модификации и обработки материалов.

Вопросы:

1. Акустический захват частиц. Оптическая «Левитация».

2. Голографическая фотолитография
3. Применение радиоволн СВЧ диапазона для ускорения химических реакций.

Рекомендуемая литература

1. Горьков Л.П. О силах, действующих на малую частицу в акустическом поле в идеальной жидкости // Доклады АН СССР. 1961. Т. 140. №1. С. 88–91.
2. Либенсон М.Н., Яковлев Е.Б., Шандыбина Г.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Конспект лекций. Часть I. Поглощение лазерного излучения в веществе. Под общей редакцией В.П. Вейко – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008. – 141 с.
3. Корешев С.Н., Ратушный В.П. Основы технологии голографической субмикронной фотолитографии // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2005. № 23. С. 34-41.
4. Бабарицкий А.И., Герасимов Е.Н., Демкин С.А., Животов В.К., Книжник А.А., Потапкин Б.В., Русанов В.Д., Рязанцев Е.И., Смирнов Р.В., Шолин Г.В. Импульсно-периодический СВЧ разряд как катализатор химической реакции // Журнал технической физики. 2000. Т. 70. № 11. С. 36-41.

Область исследования: 7. Разработка теоретических основ новых методов и систем связи, навигационных, активных и пассивных локационных систем, основанных на использовании излучения и приема волновых полей различной физической природы и освоении новых частотных диапазонов.

Вопросы:

1. Система связи с множеством излучателей и множеством приёмников.
2. Акустические системы локального позиционирования.
3. Системы получения изображений в терагерцовом диапазоне.

Рекомендуемая литература

1. Robert W. Heath Jr., Angel Lozano. Foundations of MIMO Communication / Cambridge University Press; Illustrated edition. 2019. 800 p. ISBN-10 : 0521762286. ISBN-13 : 978-0521762281.

2. Jesu's Ureña , Álvaro Hernández, J. Jesu's García, José M. Villadangos, M. Carmen Pérez, David Gualda, Fernando J. Álvarez , Teodoro Aguilera. Acoustic Local Positioning With Encoded Emission Beacons // Proceedings of the IEEE . Vol. 106, No. 6, June 2018 P 1042 -1062.
3. D Saeedkia. Handbook of Terahertz Technology for Imaging, Sensing and Communications / Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. Woodhead Publishing; 1st edition. 2013. 688 p. ISBN-10 : 0857092359. ISBN-13 : 978-0857092359.

Пример экзаменационного билета

1. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.
2. Борновское приближение однократного рассеяния.
3. Теорема Ван Циттерта-Цернике.