# ***Программа вступительного экзамена по направлению 2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь***

**Целью** вступительного испытания является оценка уровня освоения поступающим компетенций, необходимых для обучения по направлению ***2.2. «Электроника, фотоника, приборостроение и связь»*** по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

**Программы вступительных испытаний при приеме на обучение в аспирантуре формируются** на основе образовательного стандарта высшего образования Национального исследовательского Университета ИТМО. Экзамен проводится по билетам. Билет содержит 2 вопроса в соответствии с программой, а также вопрос о планируемом диссертационном исследовании абитуриента.

**Форма вступительного испытания:** устно-письменная

**Форма вступительного испытания с использованием дистанционных технологий:** тест, устно-письменная

**Продолжительность** проведения вступительного испытания. Продолжительность вступительного испытания - не более 90 минут.

**Критерии оценивания:** “неудовлетворительно”, “Удовлетворительно”, “Хорошо”, “Отлично”

**Минимальный проходной балл,** подтверждающий успешное прохождение вступительных испытаний: оценка “удовлетворительно”.

**Перечень принадлежностей**, которые поступающий имеет право пронести в аудиторию во время проведения вступительного испытания: письменные принадлежности, непрограммируемый калькулятор.

# **Научная специальность 2.2.2. «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств»**

1. Зонная структура полупроводников. Дисперсия электронов в направлениях и точках высокой симметрии в зоне Бриллюэна. Приближение эффективной массы.
2. Основные механизмы оптического поглощения в полупроводниках. Особенности межзонного поглощения и внутризонного поглощения света. Прямые и непрямые оптические переходы. Экситоны в полупроводниках.
3. Фотопроводимость полупроводников. Процессы рекомбинации. Механизмы люминесценции.
4. Диэлектрики. Диэлектрическая восприимчивость и проницаемость. Механизмы поляризации диэлектриков. Пробой твердых диэлектриков.
5. Взаимодействие излучения с инверсной средой. Условия усиления электромагнитных волн в идеальной среде. Энергетические уровни атомов, ионов и молекул. Вероятности и скорости оптических переходов.
6. Усиление света в реальной среде. Коэффициент потерь. Активная часть контура усиления. Способы получения инвертированных сред. Методы заселения и расселения уровней.
7. Режимы работы лазеров. Особенности основных режимов. Режим свободной генерации. Режим модуляции добротности резонатора. Режим синхронизации мод.
8. Твердотельные лазеры с накачкой лазерными диодами. Активные среды твердотельных лазеров. Трехуровневые и четырехуровневые активные среды. Твердотельные микролазеры и волоконные лазеры.
9. Ширина и контур спектральной линии. Естественная ширина спектральной линии. Факторы, влияющие на уширение линий. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий.
10. Способы управления длиной волны лазерного излучения.
11. Способы получения одномодового и одночастотного лазерного излучения. Схемы и устройства селекции продольных и поперечных мод лазерного излучения.
12. Устройства и элементы вывода излучения из резонатора лазера. Полупрозрачные зеркала. Элемент с отверстием связи. Вывод лазерного излучения через края одного из отражателей.
13. Электронно-дырочный переход. Энергетическая диаграмма. Прямой и обратный токи. Емкость электронно-дырочного перехода. Пробой p-n перехода.
14. Структура с квантовыми ямами. Энергетическая диаграмма. Сверхрешетки. Квантовые точки.
15. Полупроводниковые лазерные диоды. Лазерный диод полосковой конструкции. Вертикально-излучающие лазеры.
16. Межподзонные оптические переходы в полупроводниках. Квантово-каскадные лазеры.
17. Полупроводниковые фотодетекторы. Фотодетекторы p-i-n типа. Лавинные фотодетекторы.
18. Полупроводниковые светодиоды. Слой растекания тока. Светодиоды на проводящих и непроводящих подложках.
19. Солнечные элементы на кремнии. Солнечные элементы на гетероструктурах. Полимерные солнечные элементы.
20. Выпрямительные и импульсные диоды. Стабилитроны и защитные диоды. Туннельные диоды. Варикапы.
21. Устройство и принцип действия биполярного транзистора. Диффузионно-дрейфовые транзисторы. Транзисторы с изолированным затвором.
22. Устройство и принцип действия полевого транзистора. Полевые транзисторы с p-n переходом. Транзисторы с индуцированным и встроенным каналами. Транзистор с высокой подвижностью электронов.
23. Методы выращивания кристаллов полупроводников из жидкой и газовой фаз: метод Чохральского, метод Степанова, зонная плавка, метод сублимации.
24. Методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-пучковая эпитаксия.
25. Методы ионно-плазменного осаждения вещества: катодное, магнетронное, реактивное распыление, ионно- и плазмохимическое осаждение.
26. Методы осаждения вещества из газовой фазы: пиролитическое осаждение, газофазная эпитаксия однокомпонентных, бинарных и многокомпонентных соединений.
27. Методы жидкостного травления вещества. Электрохимическое травление. Ионно-плазменное травление.
28. Оборудование и процессы фотолитографии. Электронная литография. Модификация поверхности при помощи атомно-силового микроскопа.
29. Рентгеноструктурный анализ. Условие Брэгга — Вульфа. Рентгеновская кривая качания.
30. Принцип работы и устройство растрового электронного микроскопа. Взаимодействие электронов с веществом. Катодолюминесценция.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – 2008.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – 1990
3. Звелто О. Принципы лазеров. – 2008.
4. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. – 1999.
5. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. – 2004.
6. Шуберт Ф. Е. Светодиоды. – 2008.
7. Пихтин А. Н. Квантовая и оптическая электроника. – 2012.
8. Жуков А.Е. Лазеры на основе полупроводниковых наноструктур. – 2007.
9. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. – 2002
10. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. – 1984.
11. Тилл У.С., Лаксон Д.Т. Интегральные схемы: Материалы, приборы, изготовление. – 1985.
12. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. – 2002.

# **Научная специальность 2.2.4. «Приборы и методы измерения (по видам измерений)» (механические величины)**

1**. Основы метрологии**

1.1. Предмет и задачи метрологии. Важнейшие термины и определения. Физические величины. Единицы физических величин. Международная система единиц (СИ).

1.2. Средства измерений. Измерительные аналоговые и цифровые преобразователи. Исходные (эталонные) средства измерений. Рабочие средства измерений. Нормирование метрологических характеристик и классы точности.

1.3. Эталоны. Общие понятия. Государственные эталоны первичные и специальные. Вторичные эталоны (эталоны-копии, сравнения и рабочие).

1.4. Методы и принципы измерений. Виды методов измерений.

1.5. Общие требования к измерениям. Анализ постановки измерительной задачи. Выбор средств и методов измерений. Выбор числа измерений. Способы обнаружения и исключения систематических погрешностей.

1.6. Прямые и косвенные измерения. Однократные и многократные измерения. Равноточные и неравноточные измерения.

1.7. Погрешности измерений. Виды погрешностей измерений. Точность, правильность, сходимость результатов измерений. Округление результатов измерений. Погрешности измерительных устройств в статическом и динамическом режимах. Суммирование погрешностей измерительного канала для зависимых и независимых составляющих. Расчет динамических погрешностей измерительных устройств.

1.8. Обработка результатов измерений. Обработка нормального распределения данных. Обработка результатов прямых однократных измерений. Обработка результатов косвенных, совместных, совокупных измерений.

1.9. Обеспечение единства измерений. Стандартные образцы. Калибровка средств измерений.

**2. Методы и средства измерений**

2.1. Каноническое уравнение механики. Законы Ньютона и Гука. Измерительные преобразователи.

2.2. Методы и средства измерений плотности веществ.

2.3. Измерение параметров движения. Измерители линейных скоростей. Измерители скоростей вращения. Акселерометры. Виброметры.

2.4. Методы измерения сил и моментов. Динамометры. Принципы действия динамометров. Преобразование крутящего момента.

2.5. Метрологические характеристики и классификация весоизмерительных приборов.

2.6. Измерения линейно-угловых величин. Классификация средств линейно-угловых измерений.

2.7. Поверочное оборудование и поверка средств измерений механических величин. Контроль размеров. Испытания на внешнее воздействие.

**3. Основы метрологического обеспечения**

3.1. Особенности метрологического обеспечения при разработке, производстве и эксплуатации технических устройств. Средства измерений как основа метрологического обеспечения. Влияние средств измерений на точность и надежность технических устройств.

3.2. Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений». Общие положения, единицы величин. Средства и методики выполнения измерений. Метрологические службы. Государственный метрологический контроль и надзор. Калибровка и сертификация средств измерений.

3.3. Сущность методологии проведения метрологического сопровождения и метрологической экспертизы технических объектов. Основные направления их совершенствования.

**Рекомендованная литература для профиля 2.2.4 «Приборы и методы измерения (по видам измерений)» (механические величины)**

1. Клаасен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. М.: Постмаркет, 2000.
2. Кузнецов В.А., Ялунина Т.В. Общая метрология. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
3. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоиздат, 1991.
4. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука, Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., ISBN 978-5-94836-316-5
5. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден ; пер. с англ. Ю. А. Заболотной под ред. Е. Л. Свинцова .— М. : Техносфера, 2005 . - 588 с. : ил. - (Мир электроники. VII, 09) .- Библиогр. в конце гл. - ISBN 5-94836-050-4 .- ISBN 0-387-00750-4 ((англ.)).
6. Физические основы получения информации : рек. УМО вузов по образованию в обл. приборостр. и оптотехники в качестве учебного пособия для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по направл. "Приборостр." и приборостр. спец-стям / В. Ю. Шишмарев .— М. : Издательский центр "Академия", 2010 .— 446, [2] с. : ил. — (Высшее профессиональное образование, Приборостроение) .— Библиогр.: с. 442-443 .— ISBN 978-5-7695-5713-2.

**Дополнительная литература:**

1. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1988.
2. Электрические измерения неэлектрических величин, под ред. П.В. Новицкого. М.: Энергия, 1975.
3. Исаев Л.К., Малиновский В.Д. Обеспечение качества: стандартизация, единство измерений, оценка соответствия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001.

**Научная специальность 2.2.4. «Приборы и методы измерения (оптические величины)»**

**1. Основы метрологии**

1.1. Предмет и задачи метрологии. Важнейшие термины и определения. Физические величины. Единицы физических величин. Международная система единиц (СИ).

1.2. Средства измерений. Измерительные аналоговые и цифровые преобразователи. Исходные (эталонные) средства измерений. Рабочие средства измерений. Нормирование метрологических характеристик и классы точности.

1.3. Эталоны. Общие понятия. Государственные эталоны первичные и специальные. Вторичные эталоны (эталоны-копии, сравнения и рабочие).

1.4. Методы и принципы измерений. Виды методов измерений.

1.5. Общие требования к измерениям. Анализ постановки измерительной задачи. Выбор средств и методов измерений. Выбор числа измерений. Способы обнаружения и исключения систематических погрешностей.

1.6. Прямые и косвенные измерения. Однократные и многократные измерения. Равноточные и неравноточные измерения.

1.7. Погрешности измерений. Виды погрешностей измерений. Точность, правильность, сходимость результатов измерений. Округление результатов измерений. Погрешности измерительных устройств в статическом и динамическом режимах. Суммирование погрешностей измерительного канала для зависимых и независимых составляющих. Расчет динамических погрешностей измерительных устройств.

1.8. Обработка результатов измерений. Обработка нормального распределения данных. Обработка результатов прямых однократных измерений. Обработка результатов косвенных, совместных, совокупных измерений.

1.9. Обеспечение единства измерений. Стандартные образцы. Калибровка средств измерений.

**2. Методы и средства измерений**

2.1. Природа света. Электромагнитный спектр. Поляризация света. Закон Брюстера. Измерение коэффициента преломления оптического материала с помощью закона Снеллиуса и формул Френеля.

2.2. Планарный волновод. Полное внутреннее отражение. Числовая апертура. Моды волновода. Измерение постоянных распространения в планарных волноводах призменным методом.

2.3. Оптическое волокно, его структура и основные характеристики. Одномодовое и многомодовое оптическое волокно. Оптическое волокно с двулучепреломлением. Методы измерения потерь, дисперсий и длины биения в оптических волокнах.

2.4. Двухлучевая интерференция (Интерферометр Майкельсона и Маха-Цендера). Видность и ширина полосы интерференционной картины. Временная и пространственная когерентность. Методы измерения временной когерентности двухлучевыми интерферометрами.

2.5. Интерференция на плоскопараллельной пластине. Интерференция на клине. Кольца Ньютона. Опыт Юнга. Интерферометрические методы измерения пространственной когерентности.

2.6. Интерферометр Фабри-Перо. Измерение спектра излучения лазеров с помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо.

2.7. Эффект Саньяка. Устройство и принцип работы интерферометра Саньяка. Измерение угловой скорости вращения с помощью фазового волоконно-оптического гироскопа. Измерение угла поворота объекта с помощью лазерного гироскопа.

2.8. Электрооптический эффект Поккельса. Электрооптический эффект Керра. Магнитооптический эффект Фарадея. Использование электрооптического и магнитооптического эффектов для модуляции амплитуды, фазы и частоты оптического излучения.

2.9. Понятие дифракции. Дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера. Дифракция на двух щелях. Дифракционная решетка. Схема Черни-Тёрнера. Методы и средства измерения оптического спектра.

2.10. Волоконные брэгговские решетки. Методы и средства регистрации центральной длины волны отражения волоконной брэгговской решетки. Волоконно-оптические датчики на основе решеток Брэгга.

2.11. Волоконно-оптические датчики на эффектах рэллеевского, рамановского рассеяния оптического излучения и рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.

**3. Основы метрологического обеспечения**

3.1. Особенности метрологического обеспечения при разработке, производстве и эксплуатации технических устройств. Средства измерений как основа метрологического обеспечения. Влияние средств измерений на точность и надежность технических устройств.

3.2. Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений». Общие положения, единицы величин. Средства и методики выполнения измерений. Метрологические службы. Государственный метрологический контроль и надзор. Калибровка и сертификация средств измерений.

3.3. Сущность методологии проведения метрологического сопровождения и метрологической экспертизы технических объектов. Основные направления их совершенствования.

**Рекомендованная литература для научной специальности 2.2.4. «Приборы и методы измерения (оптические величины)»**

1. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1988.
2. Исаев Л.К., Малиновский В.Д. Обеспечение качества: стандартизация, единство измерений, оценка соответствия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001.
3. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоиздат, 1991.
4. Явелов, И. С. Волоконно-оптические измерительные системы. Прикладные задачи / И. С. Явелов, С. М. Каплунов, Г. Л. Даниелян, Рос. акад. наук, Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова ; Ред. С. М. Каплунов. – М. : Регулярная и хаотическая динамика ; Ижевск : Ин-т компьют. исслед., 2010 .С – 267 с.
5. Салех, Бахаа Е.А. Оптика и фотоника. Принципы и применения Fundamentals of photonics : в 2 т. : [учебное пособие] / Б. Е. А. Салех, М. К. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова .— Долгопрудный : Издательский Дом "Интеллект", 2012.Т. 2 .— 780 с.
6. Цуканов В.Н., Яковлев М.Я. Волоконно-оптическая техника. Практическое руководство — 2-е изд. — М. : Инфра-Инженерия, 2015 .— 302 с.
7. Бутиков, Е.И. Оптика: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 608 с.
8. Панов, М.Ф. Физические основы фотоники: учебное пособие / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 564 с.

**Дополнительная литература:**

1. Стандарты частоты и времени на основе квантовых генераторов и дискриминаторов, под ред. Б.П. Фатеева. М.: Сов. Радио. 1978.
2. Кузнецов В.А., Ялунина Т.В. Общая метрология. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
3. Ероньян М. А. Нанотехнология одномодовых фоторефрактивных оптических волокон, сохраняющих поляризацию: учебное пособие/ М. А. Ероньян, И. К. Мешковский; М-во образования и науки РФ, СПбНИУ ИТМО, [Каф. световод. фотоники].- СПб.: НИУ ИТМО, 2014.- 43 с.
4. Ероньян М. А. Основы нанотехнологии анизотропных одномодовых волоконных световодов: учебное пособие/ М. А. Ероньян, И. К. Мешковский; М-во образования и науки РФ, СПбНИУ ИТМО, Каф. ФиТОС.- СПб.: НИУ ИТМО, 2014.- 80 с.
5. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие / А. Н. Игнатов .— Москва : Лань, 2011 .— 538 с.
6. Черненко В.Д. Оптомеханика волоконных световодов: Учебное пособие – СПб. : Политехника, 2010 .— 289 с.
7. Кирилловский, В.К. Современные оптические исследования и измерения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 304 с.
8. Алешкевич, В.А. Курс общей физики. Оптика: учеб. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2011. — 320 с.
9. Кирилловский В.К., Точилина Т.В. Оптические измерения: Учебное пособие по лабораторному практикуму. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 117 с.
10. Сидоров А.И., Никоноров Н.В. Материалы и технологии интегральной оптики. Учебное пособие.2009г. СПб, НИУ ИТМО
11. Варжель С.В. Волоконные брэгговские решетки: учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2015. – 65 с.
12. Кульчин, Ю.Н. Современная оптика и фотоника нано- и микросистем/ Ю.Н. Кульчин. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2016. — 440 с.

# **Научная специальность 2.2.5. «Приборы навигации»**

1. Форма и размеры Земли. Геоид, эллипсоиды вращения. Основные направления на земной поверхности. Линии пути. Основные системы координат, используемые в навигации объектов, движущихся вблизи поверхности Земли. Гравитационное поле Земли.
2. Навигационные параметры и параметры ориентации объектов, движущихся вблизи поверхности Земли. Параметры ориентации: углы Эйлера, Крылова, направляющие косинусы, параметры Родрига-Гамильтона, кватернионы. Их взаимосвязь.
3. Метод счисления координат местоположения объекта. Первичные навигационные измерения. Уравнения (алгоритм) метода определения географических и декартовых координат.
4. Инерциальный метод навигации. Первичные навигационные измерения. Основные положения. Алгоритмы решения задач ориентации и навигации.
5. Методы спутниковой навигации. Первичные навигационные измерения. Алгоритм решения навигационной задачи.
6. Методы и средства подземной навигации. Понятия о методах геофизических исследований в скважинах.
7. Метод навигации по геофизическим полям.
8. Классификация гироскопических чувствительных элементов. Трехстепенной гироскоп. Нутационное и прецессионное движения.
9. Принцип действия кольцевого оптического квантового генератора. Применение его в лазерных гироскопах. Принципиальная схема лазерного гироскопа (ЛГ). Его выходные характеристики. Современное состояние ЛГ.
10. Принципиальная схема волоконно-оптического гироскопа (ВОГ). Ее работа. Выходные характеристики, чувствительность ВОГ. Модель дрейфа ВОГ.
11. Назначение, конструктивные схемы и принципы действия микромеханических гироскопов (ММГ). Функциональная схема ММГ. Основные характеристики. Современное состояние.
12. Электростатические гироскопы (ЭСГ). Особенности построения ЭСГ с бескарданным съемом информации. Модель дрейфа бескарданного ЭСГ.
13. Элементы гироскопических устройств (арретиры, демпферы, токоподводы).
14. Принципиальная схема гироазимута (ГА). Модель погрешностей ГА. Их анализ.
15. Принципиальные схемы гировертикалей с пропорциональной и интегральной коррекцией. Модель погрешностей гировертикали. Их анализ.
16. Гирокомпасы (ГК). Принцип действия. Модель погрешностей ГК и их анализ. Современное состояние.
17. Классификация инерциальных навигационных систем (ИНС). Современный мировой уровень развития ИНС и инерциальных элементов.
18. Алгоритмы решения задач ориентации и навигации в платформенных ИНС и в БИНС на датчиках угловой скорости типа ВОГ.
19. Алгоритмы решения задачи ориентации в БИНС на позиционных гироскопах типа ЭСГ.
20. Модели погрешностей БИНС в выработке параметров ориентации и навигационных параметров подвижного объекта. Анализ устойчивости контура вертикали БИНС. Собственные частоты, аналитические решения.
21. Демпфирование собственных колебаний и коррекция погрешностей БИНС по внешней информации.
22. Основные конструктивные особенности гироскопических чувствительных элементов. САПР OrCAD. Состав, назначение, выполняемые функции.
23. Конструкции волоконно-оптических гироскопов. Методы компенсации влияния температурных и вибрационных воздействий.
24. Понятие динамической модели в пространстве состояния. Классификация динамических систем. Основные функции (передаточная и весовая функция, частотная характеристика), используемые при описании линейных систем. Связь между этими функциями.
25. Случайные процессы, их основные характеристики. Корреляционная функция, спектральная плотность случайного процесса.
26. Вариации Алана и их использование в задачах обработки навигационной информации.
27. Формулировка постановки задачи оценивания с использованием метода наименьших квадратов (МНК). Решение задачи оценивания постоянной величины и амплитуды гармонического сигнала с использованием МНК.
28. Формулировка постановки задачи дискретной линейной фильтрации. Алгоритм ее решения с помощью фильтра Калмана. Понятие установившегося режима в задаче фильтрации. Фильтр Винера и его связь с фильтром Калмана.
29. Общая характеристика методов обсерваций, история создания и основные параметры СНС GPS, ГЛОНАСС. Уравнения связи первичных навигационных измерений и искомых координат места объекта в задаче обсервации по астроориентирам и навигационным спутникам систем GPS, ГЛОНАСС.
30. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации. Структура построения по слабосвязанной и по сильносвязанной схеме.

**Научная специальность 2.2.6. «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»**

* + - 1. Идеальная оптическая система. Линейное, угловое, продольное увеличение. Кардинальные точки и отрезки. Матрица преобразования оптической системы: общий вид, геометрический смысл, матрицы преломления и переноса. Ограничение пучков лучей в реальных оптических системах.
      2. Аберрации. Формы представления аберраций. Взаимосвязь аберраций. Монохроматические аберрации тонкой линзы. Хроматические аберрации тонкой линзы.
      3. Отражение и преломление света на границе раздела двух сред. Формулы Френеля.
      4. Описание световых волн. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение.
      5. Комплексный показатель преломления. Коэффициент экстинкции. Закон поглощения Бугера-Ламберта. Связь дисперсии показателя преломления и поглощения света. Соотношения Крамерса-Кронига.
      6. Эллипсоид показателей преломления. Одноосные и двуосные кристаллы. Двулучепреломление света. Особенности отражения световых волн от анизотропных сред. Отражение от плоского зеркала. Отражение от двух плоских зеркал.
      7. Интерференция и дифракция оптического излучения. Условия возникновения. Математическое описание. Интерференционные и дифракционные методы исследований.
      8. Оптическая элементная база: линзы, зеркала, плоскопараллельные пластинки, призмы. Специальные оптические элементы.
      9. Классификация источников оптического излучения. Основные параметры источников оптического излучения. Модели источников.
      10. Естественные источники излучения, их параметры и характеристики. Технические источники света, их параметры.
      11. Принципы действия светодиода, суперлюминесцентного диода и лазерного диода. Ватт-амперные характеристики полупроводниковых излучателей, их спектры, влияние температуры на спектр и мощность излучения.
      12. Классификация приемников оптического излучения. Основные параметры приёмников оптического излучения.
      13. Принцип действия приёмников оптического излучения: радиационных термоэлементов, болометров и калориметров, пироэлектрических приёмников.
      14. Принципы действия приёмников оптического излучения на внутреннем фотоэффекте. Полупроводниковые pin- и лавинные фотодиоды. Коэффициент лавинного умножения. Источники шумов в полупроводниковых фотодиодах.
      15. Энергетические и световые величины и их взаимосвязь.
      16. Когерентность. Временная и пространственная когерентность, способы их измерения.
      17. Поляризация оптического излучения, способы её измерения, применение.
      18. Элементы оптики полупроводников. Структура энергетических зон кристаллов. Зоны Бриллюэна. Оптические переходы в чистых и примесных кристаллах.
      19. Распространение излучения в оптических волноводах. Условие волноводного распространения. Одномодовый и многомодовый режимы. Применение оптических волноводов.
      20. Пространственная и временная когерентность излучения лазера. Одно и многомодовый режим излучения лазера. Предельная пространственная когерентность излучения одномодового лазера.
      21. Основные достоинства лазерного излучения и его возможности. Степень монохроматичности, время когерентности и длина когерентности лазерного излучения. Временные режимы работы лазеров, особенности этих режимов.
      22. Виды оптических переходов в атомах и молекулах Условие усиления оптического излучения в веществе.
      23. Основные элементы лазера и их назначение. Показатель усиления активной среды. Явление насыщения усиления.
      24. Оптический резонатор лазера, классификация резонаторов, диаграмма устойчивости оптического резонатора.
      25. Излучение и поглощение оптического излучения плазмой. Виды электрического разряда в плазме. Лазерная плазма и оптический пробой газов.
      26. Классификация лазеров. Основные характеристики и особенности.
      27. Оптический сигнал и его преобразование. Преобразование Фурье. Основные свойства преобразования Фурье. Примеры преобразования Фурье.
      28. Дифракционная структура изображения. Безаберрационная оптическая передаточная функция. Безаберрационная функция рассеяния точки.
      29. Основы голографии. Уравнения Габора. Виды голограмм. Метод Ю.Н. Денисюка.
      30. Оптические контрольно-измерительные и метрологические системы и устройства. Принцип действия. Основные характеристики. Ограничения применения.

**Научная специальность 2.2.7. «Фотоника (технические науки)»**

1. Лазерные технологии обработки материалов: области применения и их особенности. Особенности воздействия лазерного излучения на материалы и вызванные им физико-химические процессы. Различие между непрерывным и импульсным воздействием излучения на материалы, влияние длительности и частоты следования импульсов на качество обработки, ее эффективность и производительность.

2. Газовые технологические лазеры: типовая конструкция, газ активной среды и режимы генерации излучения (СО, СО2 и эксимерные лазеры).

3. Основные уравнения в оптике гауссовых пучков, определение длины Рэлея и глубины резкости, качество пучка (М2-фактор), инвариант Лагранжа-Гельмгольца. Геометрические приближения оптики лазерных пучков, телецентрическая модель лазерного источника. Фокусировка лазерного пучка сферической линзой, особенности размещения линзы и аберрационные искажения пучка.

4. Твердотельные и волоконные лазеры: типовая конструкция, основные материалы активных сред, режимы генерации излучения.

5. Лазерные информационно-измерительные технологии. Применение лазерного излучения в оптической микроскопии и спектроскопии. Лазерная интерферометрия. Лазерная дальнометрия, доплеровский и триангуляционный датчики.

6. Терагерцовые лазеры: принцип возбуждения излучения, типовая конструкция и режимы генерации излучения.

7. Применение лазеров в научных исследованиях: флуоресцентная спектроскопия и микроскопия, конфокальная, двухфотонная и конфокальная терморефлекторная микроскопия, рамановская спектроскопия.

8. Спонтанные и вынужденные переходы. Принцип работы лазера и основные типы источников лазерного излучения. Активные среды и инверсная населённость, вынужденное излучение. Резонаторы лазеров. Устойчивые и неустойчивые, кольцевые резонаторы.

9. Схемы реализации и особенности применения pump-probe фемтосекундной техники в научных исследованиях. Лазерно-индуцированная плазменная спектроскопия и области ее применения.

10. Моды резонатора и модовый состав лазерного пучка. Многомодовые пучки: Эрмита-Гаусса, Лагерра-Гаусса, дифракционно-ограниченные. Режим модуляции добротности в лазере. Режим синхронизации мод лазера. Естественная ширина линии и механизмы уширения линий.

11. Многомерная оптическая память, лазерные технологии записи и считывания информации в объеме прозрачных диэлектриков. Условия формирования модифицированных областей в объеме стекла и их оптические свойства.

12. Пико- и фемтосекундные лазеры: принцип генерации лазерных импульсов, типовая конструкция и режимы генерации излучения.

13. Технологии лазерной модификации полупроводниковых пленок: используемые материалы, лазерные источники и режимы облучения. Создание фотоэлектрических пленочных элементов. Методы многослойной записи информации и ее считывания.

14. Нелинейно-оптические кристаллы и их ключевые характеристики. Применение нелинейно-оптических кристаллов в лазерных системах. Модуляторы: акустооптический, ячейки Поккельса, Керра и Фарадея.

15. Материалы, технологии создания и применение фотовольтаических элементов и светоизлучающих полупроводниковых элементов.

16. Суперлюминесцинция полупроводников и полупроводниковые лазеры. Метод инжекции и генерация излучения в полупроводниковых лазерах. Характеристики пучка излучения полупроводникового лазера.

17. Лазерные технологии обработки тонких пленок в режимах окисления, переноса, абляции. Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры: механизмы формирования и области применения. Технология лазерной литографии. Интерференционная литография.

18. Особенности взаимодействия импульсов ультракороткой длительности с веществом. Применение импульсов ультракороткой длительности для лазерной обработки материалов фотоники.

19. Типы волноводов, применяемых в интегральной оптике: планарные и полосковые волноводы, периодические волноводы, в т.ч. решетки Брэгга, плазмонные волноводы. Условия распространения оптического излучения в полосковом волноводе, частота отсечки для распространения одномодового излучения.

20. Лазерные технологии в биофотонике, оптико-физические свойства биотканей. Процессы, происходящие в биотканях под действием лазерного излучения. Основные хромофоры организма.

21. Функциональные элементы интегральной оптики, применяемые для фокусировки, поляризации и модуляции излучения. Волноводные интерферометры Маха-Цендера, согласующиеся волноводы и разделители.

22. Применение лазерных технологий в офтальмологии, примеры лазерных систем. Строение глаза. Лазерные технологии коррекции зрения, лечения катаракты и глаукомы, профилактики и лечения отслоения сетчатки.

23. Способы ввода и вывода лазерного излучения в волновод и волокно. Оптические потери в прямолинейном и криволинейном волноводах. Сдвиг Гуса-Хенхена.

24. Лазерные технологии в стоматологии и ортопедии. Строение, оптические свойства зуба и костных тканей. Лазерные технологии обработки мягких тканей полости рта.

25. Лазерные технологии синтеза наночастиц в коллоидных растворах и в твердотельной прозрачной матрице. Механизмы формирования, роста и распада в режиме дефрагментации / окисления наночастиц под действием лазерного излучения. Плазмонный резонанс: механизм возникновения и области применения.

26. Лазерные технологии в термооптической хирургии и соединения биотканей. Параметры хирургических лазеров. Оптотермические и оптоакустические конверторы лазерного излучения. Лазерная рана, зоны разрушения и некроза.

27. Оптические системы для лазерной обработки с высоким разрешением. Дифракционный, тепловой, термохимический предел разрешения. Методы обработки материалов интерференционными полями.

28. Лазерно-плазменные технологии обработки прозрачных материалов. Преимущества и недостатки основных методов лазерно-плазменной обработки стекол: LIPAA, LIBDE, LIFFE, LIBWE, LIMP.

29. Применение лазерных источников в исследованиях квантоворазмерных систем. Понятия лазерной левитации (оптического пинцета), оптических ловушек, лазерного охлаждения. Сферы применения и перспективы развития.

30. Применение лазеров в качестве эталонных источников излучения для проведения измерений. Характеристики лазерных пучков: направленность, когерентность, спектральная ширина лазерного излучения.

**Рекомендованная литература для профиля 2.2.7. «Фотоника»**

1. Звелто О. Принципы лазеров. пер. с англ. под науч. ред. Т.А. Шмаонова. - 4-​е изд. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. - 720 с
2. Тарасов Л. В. Физика лазера — Изд. 2-е, испр. и доп .— М.: URSS: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", [2010] .— 439 с.
3. Ананьев Ю.А., Оптические резонаторы и лазерные пучки / Ю. А. Ананьев. – М.: Наука, 1990. – 263 с.
4. Гудмен, Д. Введение в Фурье-оптику. – 1970.
5. Быков, В. П. Лазерные резонаторы / В. П. Быков, О. О. Силичев. - М.: Физматлит, 2004. -320 с.
6. Борейшо, А. С. Лазеры: устройство и действие: учебное пособие для вузов / А. С. Борейшо, С. В. Ивакин. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-8525-3. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/186213>.
7. Тарасов. Л.В. Введение в квантовую оптику / Л.В. Тарасов. М.: URSS: Издательство ЛКИ, 2014. – 304 с.: ил.
8. Koechner W. Solid-State Laser Engineering. 6th edition. - Springer-Verlag New York, 2006. - 747pp
9. L. Novotny and B. Hecht. Principles of nano-optics. Cambridge university press (2012).
10. M. Born and E. Wolf. Principles of optics: electromagnetic theory of propaga- tion,interference and diffraction of light. Elsevier (2013)
11. Principles of Photonic Integrated Circuits Materials, Device Physics, Guided Wave Design <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65193-0>
12. Schaeffer R. Fundamentals of laser micromachining//CRC press. – 2012, – 223 p.
13. Dickey F. M., Laser beam shaping: theory and techniques // CRC press. – 2014, – 587 p.
14. Климков Ю.М., Хорошев М.В. Лазерная техника: Учебное пособие // М.: МИИГАиК. – 2014, – 143 с.
15. Nolte S., Schrempel F., Dausinger F. Ultrashort Pulse Laser Technology. Laser Sources and Applications // Springer Series in Optical Sciences. – 2016, – 358 р.
16. William M. Steen, Jyotirmoy Mazumder. Laser Material Processing. 4.ed // Springer Series in Optical Sciences. – 2010, – 558 р.
17. Metev S. M., Veiko V. P. Laser-assisted microtechnology. 2ed // Springer Science & Business Media. – 2013, – Т. 19. – 271 p.
18. Салех, Б. and М. Тейх, Оптика и фотоника. Принципы и применения: учеб. пособие. в 2 т. Т. 1-2. 2012, М.: Издательский Дом «Интеллект». 760 с.
19. Veiko, V.P., Konov, V.I. (eds) Fundamentals of Laser-Assisted Micro- and Nanotechnologies. Springer International Publishing, Heidelberg (2014) <https://www.springer.com/gp/book/9783319059860> — Accessability: from ITMO University.
20. 4. Sugioka, K. (ed) Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering. Springer, Cham. (2021) . <http://doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2> — Accessability: from ITMO University.

# **Научная специальность 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды»**

1. Характеристика и классификация объектов контроля: веществ, материалов, изделий, природной среды. Вещества, агрегатные состояния веществ: газы, жидкости, твердые вещества.
2. Сведения о физических и физико-химических свойствах веществ как объектов контроля. Материалы, общие представления о структуре и механических и физико-химических свойствах.
3. Общая характеристика природной среды как объекта экологического контроля. Природные и антропогенные экологические факторы. Основные источники загрязнения.
4. Виды технического контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. Методы аналитического и неразрушающего контроля.
5. Предмет и задачи метрологии. Физические величины, единицы величин, системы единиц физических величин. Размерности величин и единиц, анализ размерности. Классификация измерений, виды и методы измерений. Погрешности измерений, классификация погрешностей. Случайные и систематические погрешности. Типовые законы распределения погрешностей измерений. Численные характеристики погрешностей измерений, интервальные характеристики погрешностей.
6. Классификация средств измерений (СИ). Принципы построения СИ. Типовые структурные схемы СИ и их элементы. Сигналы измерительной информации, временное и спектральное представление сигналов. Преобразование сигналов измерительной информации в СИ. Статические и динамические характеристики СИ, математические модели этих характеристик. Информационные характеристики СИ. Погрешности СИ в статике и динамике. Подготовка измерительного эксперимента. Технические измерения с однократными и многократными наблюдениями. Обработка и представление результатов наблюдений.
7. Метрологическое обеспечение методов и метрологических характеристик приборов контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. Закон РФ об обеспечении единства измерений. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема. Градуировка, поверка и калибровка СИ.
8. Упругие свойства твердых тел. Диаграмма деформация-напряжение. Упругие и пластические деформации. Плоские, цилиндрические и сферические волны. Основные виды ультразвуковых преобразователей. Важнейшие пьезоэлектрические материалы и их характеристики.
9. Ультразвуковой эхо-метод и его основные характеристики: чувствительность, лучевая и фронтальная разрешающая способность, мертвая зона. Основные формы импульсов, применяемых в акустической аппаратуре. Ультразвуковые импульсные толщиномеры.
10. Приборы для контроля методом акустической эмиссии (АЭ). Принцип и область применения метода АЭ. Эффект Кайзера. Информативные параметры метода. Помехи и борьба с ними. Выбор диапазона частот. Определение координат дефектов.
11. Основы теории виброизмерительных приборов. Виброизмерительные приборы инерционного действия, режим работы, области рабочих частот, характерные погрешности. Бесконтактные преобразователи вибрации. Характерные погрешности измерения. Наиболее распространенные типы электроизмерительных преобразователей, используемых в датчиках вибраций.
12. Физические основы капиллярного контроля, технология контроля. Основные дефектоскопические материалы: проникающие жидкости, проявители, очистители. Аппаратура для цветного и люминесцентного контроля.
13. Природа диа-, пара-, и ферромагнетизма. Методы измерения напряженности магнитных полей, намагниченности и индукции. Магнитная дефектоскопия. Связь магнитных свойств с химическим и структурным состоянием материала. Магнитные толщиномеры.
14. Отражение, преломление и поляризация света на границе двух сред. Формулы Френеля. Угол Брюстера. Оптическое излучение в среде с дисперсией. Уравнения Максвелла. Фотометрические величины. Светотехнические величины и их связь с фотометрическими. Физическая природа оптических явлений, используемых для контроля: дифракция, интерференция, рассеяние света, фотоэффект. Поляризация и способы ее измерения, как скалярной величины.
15. Естественные источники излучения, их параметры и характеристики. Технические источники света. Классификация приемников оптического излучения. Принцип действия приемников оптического излучения: на внутреннем фотоэффекте, радиационных термоэлементов, болометров и калориметров, пироэлектрических приемников. Вольт-амперные Основные параметры приемников оптического излучения: пороговые, шумовые, частотные, временные, спектральные, пространственные.
16. Природа ионизирующего излучения и его основные характеристики. Интенсивность излучения. Единицы дозы и активности. Взаимодействие заряженных частиц, нейтронов, рентгеновского и гамма-излучения с веществом. Источники излучения: рентгеноаппараты, линейные ускорители, бетатроны, микротроны, радиоактивные изотопы. Методы регистрации излучения: фотопленка и усиливающие экраны, ксерография, сцинтилляционные счетчики. Рентгенооптические преобразователи.
17. Основы методики радиационного контроля. Области применения. Выбор источников энергии излучения и методов регистрации. Геометрия просвечивания, выбор оптимального фокусного расстояния, факторы, влияющие на контрастность снимков. Компенсаторы. Определение размера и положения дефекта. Радиография. Стереорентгенография. Принципы компоновки устройств, реализующих радиографический и рентгенотелевизионный методы дефектоскопии. Аппаратура для контроля нейтронным излучением и заряженными частицами. Радиационные толщиномеры. Компьютерная томография.
18. Законы электромагнитного излучения: Планка, Вина, Стефана-Больцмана. Приемники оптического излучения. Термоэлектрические и жидкокристаллические преобразователи. Принципы построения пирометров: радиационных, яркостных, частичного измерения, цветовых. Термография. Тепловизоры, их устройство и применение.
19. Понятие герметичности. Основные виды нарушения герметичности. Основные характеристики испытаний, чувствительность, диапазон выявляемых течей. Разновидности течеискателей и способы их применения. Способы калибровки приборов.
20. Измерение электрического сопротивления. Методы переменного и постоянного токов. Приборы для контроля дефектов и химического состава, основанные на измерении электросопротивления, тангенса угла потерь, диэлектрической постоянной.
21. Физические основы метода вихревых токов. Разновидности преобразователей, их конструкция, область применения. Годографы для основных типов преобразователей. Анализ влияния электропроводности, магнитной проницаемости и зазора преобразователь-изделие с помощью годографа.
22. Способы разделения информации: амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, переменно-частотный. Факторы, мешающие контролю; способы отстройки от них.
23. Электрохимические методы и приборы контроля состава жидкостей: кондуктометрические (контактные и бесконтактные), диэлькометрические, полярографические и др. Физико-химические основы методов.
24. Потенциометрические анализаторы, теоретические основы метода. Электродная система pН-метра, измерительная схема рН-метра. Определение координат изопотенциальной точки, схемы температурной компенсации. Приборы для измерения рН. Ионоселективные электроды, иономеры. Автоматическое титрование. Кривые титрования. Схемы титрометров дискретного и непрерывного действия.
25. Радиоизотопные аналитические методы и приборы: ионизационные, активационные, абсорбционные, по рассеиванию излучения и др. Их особенности, типовые структурные схемы, области применения.
26. Оптические методы и приборы контроля состава жидкостей. Фотометрические дисперсионные и недисперсионные анализаторы. Абсорбционные фотометрические анализаторы, работающие в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра. Турбодиметрические и фотоколориметрические анализаторы.
27. Хроматографический метод анализа. Приборы и методы контроля влажности газов: психрометрический, точка росы, сорбционные и др.
28. Оптические приборы и методы газового анализа: абсорбционные и эмиссионные. Тепловые приборы и методы газового анализа. Магнитные газоаналитические приборы.
29. Электрохимические приборы и методы газового анализа. Ионизационные газоанализаторы.
30. Классификация методов контроля параметров природной среды. Технические средства мониторинга воздушной среды, водной среды и почв: газоанализаторы, анализаторы жидкостей, анализаторы твердых и сыпучих веществ. Методическое и техническое обеспечение аналитической аппаратуры универсального назначения: атомная и молекулярная спектрофотометрия, газовые и жидкостные хроматографы.

**Научная специальность 2.2.9. «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры»**

1. Получение заготовок и деталей приборов литьем.
2. Получение заготовок и деталей приборов различными методами обработки давлением.
3. Получение заготовок и деталей приборов с помощью порошковой металлургии.
4. Технологические, экономические и экологические аспекты обработки заготовок резанием.
5. Тепловые явления в процессе резания и влияние СОЖ на точность и качество обработанных поверхностей.
6. Износ и стойкость режущих инструментов, причины износа, критерии износа.
7. Способы обработки резанием для достижения геометрической точности и качества обрабатываемых поверхностей.
8. Основные особенности, назначение и возможности электрофизических и электрохимических методов обработки.
9. Новые технологии в области обработки резанием и ЭФЭХ-методов.
10. Погрешности в процессе обработки заготовок: классификация, причины возникновения и их определение.
11. Технологические возможности повышения геометрической точности деталей приборов.
12. Взаимосвязь жесткости элементов технологической системы, точности и производительности изготовления деталей приборов.
13. Анализ микрогеометрии поверхностей и эксплуатационные свойства деталей приборов.
14. Базы и базирование в приборостроении: сущность, классификация баз и их использование.
15. Принципы совмещения (единства) и постоянства баз, их сущность и последствия пренебрежения ими.
16. Классификация технологических процессов изготовления деталей приборов и их характеристика.
17. Содержание технологической подготовки производства приборов.
18. Типы производств и их характеристика.
19. Принципы и последовательность проектирования техпроцессов изготовления деталей приборов.
20. Документальное оформление технологических процессов.
21. Припуск на обработку (поверхности заготовки), его виды. Составляющие припуска. Связь величины припуска с глубиной резания для обеспечения производительности обработки или качества (шероховатости) поверхностей заготовки. Напуск и причины его образования (возникновения).
22. Последовательность проектирования операций ТП и особенности их проектирования при использовании станков с ЧПУ.
23. Сборка приборов, организационные формы сборки и их характеристика.
24. Методы решения сборочных размерных цепей.
25. Автоматизация сборки и ее проблемы.
26. Назначение и классификация станочных приспособлений.
27. Структура станочных приспособлений и принципы их проектирования.
28. Обеспечение точности технологических приспособлений.
29. Закрепление заготовок в приспособлениях, выполнение необходимых расчётов.
30. Перспективы развития ТПС.

# **Научная специальность 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»**

1. Измерения и их элементы: физические величины, единицы, средства измерений, методы измерений, результат измерений и погрешность. Международная система единиц (СИ).
2. Средства измерений: виды средств измерений, параметры средств измерений и эталоны.
3. Погрешности измерений: случайные и систематические, статистические и динамические, грубые. Способы обнаружения погрешностей, введение поправок.
4. Национальная и международная метрология и стандартизация. Метрическая конвенция. Законодательная метрология. Обеспечение единства измерений и достоверность результатов измерений. Национальная и глобальная система измерений. Поверка средств измерений медицинского назначения и испытания с целью утверждения их типа.
5. Основные положения государственной системы стандартизации ГОСТ; научная база стандартизации; определение оптимального уровня унификации и стандартизации; государственный контроль и надзор за соблюдением требований государственных стандартов.
6. Классификация систем. Способы описания систем. Основные функциональные характеристики сложных систем. Рассмотрение организма с позиции системного анализа.
7. Биомедицинские сигналы и их характеристики. Электрокардиографический (ЭКГ), магнитокардиографический, электроэнцефалографический, электрокортикографический, электромиографический, электроокулографический, электрогастрографический, сигнал кожногальванической реакции, фонокардиографический, сфигмографический, реографический, фотоплетизмографический, плетизмографический сигналы
8. Измерительных преобразователи биомедицинских сигналов. Датчики: технические требования для биомедицинских систем, классификация по принципу действия.
9. Роль измерения в медико-биологической практике; источники погрешностей; методы диагностических исследований; пассивные методы; исследования механических, электрических, магнитных свойств организмов и тканей, биоэлектрических потенциалов; методы регистрации полей (фотометрические, биологическая интроскопия); аналитические исследования.
10. Статистическое описание медико-биологических данных. Среднее. Стандартное отклонение. Нормальное распределение. Медиана и процентили. Выборочные оценки.
11. Статистический анализ данных. Сравнение нескольких групп: дисперсионный анализ.
12. Сравнение двух групп: критерий Стьюдента. Критерий Стьюдента с точки зрения дисперсионного анализа. Ошибки в использовании критерия Стьюдента. Критерий Стьюдента для множественных сравнений.
13. Анализ зависимостей. Уравнение регрессии. Оценка параметров уравнения регрессии по выборке. Сравнение двух линий регрессий. Корреляция. Сравнение двух способов измерения: метод Блэнда—Алтмана.
14. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики. Форматы представления медицинских изображений. Технология обработки графических изображений. Технология обработки полутоновых изображений.
15. Томографические методы. Виды томографии. Прямая и обратная томографические задачи. Преобразование Фурье и преобразование Радона в задачах томографии.
16. Приборы, устройства для регистрации и анализа биопотенциалов сердечно-сосудистой системы. Комплекс приборов для электрокардиографии, фонокардиографии, реографии и векторкардиографии. Системы отведений биосигналов.
17. Приборы для измерения электрической активности мозга. Параметры сигналов, системы отведений, методы обработки сигналов. Диагностические возможности.
18. Приборы для измерения кровенаполнения, давления и скорости кровотока пульса и акустических шумов.
19. Ультразвуковая аппаратура. Разрешающая способность приборов для ультразвуковой диагностики. Пути повышения информационности ультразвуковых приборов.
20. Приборы электронной и физической оптики. Телевизионная, инфракрасная и лазерная медицинская техника. Методы и техника клинической термографии. Электронная микроскопия.
21. Радиоизотопная аппаратура. Методы применения радиоактивных изотопов для диагностических исследований. Методы регистрации ионизирующих излучений: ионизационные, сцинтилляционные, фотохимические.
22. Магнитно-резонансная томография и спектроскопия. Основные подсистемы магнитно-резонансного томографа и их роль в формировании изображения.
23. Рентгеновская компьютерная томография. Шкала Хаунсфилда. Спиральная компьютерная томография. Мультиспиральная компьютерная томография.
24. Физические особенности лучевой терапии: терапии фотонами, электронами, протонами, легкими ионами, нейтронами.
25. Терапевтические ультразвуковые приборы и аппараты. Аппаратура УВЧ-терапии.
26. Высокочастотная электрохирургия. Резание и коагуляция мягких тканей. Особенности электрохирургических аппаратов.
27. Имплантируемые и наружные кардиостимуляторы, приборы и системы контроля их работы.
28. Материалы медицинского назначения. Генерализованное влияние биоматериалов на организм. Влияние организма на биоматериалы. Биосовместимость.
29. Искусственный интеллект в медицинской диагностике. Анализ состояния, проблемы и перспективы развития
30. Критерии допуска к клиническим испытаниям программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта. Этапы клинических испытаний. Метрики качества при оценке диагностической точности. Требования к эталонным наборам данных.

**Рекомендованная литература для научной специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»**

1. Рубин А.Б. Биофизика. В 2-х томах. 944 стр., 2004 г.

2. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология. М.: Изд-во стандартов, 2001

3. Гланц С. Медико-биологическая статистика / Пер. с англ. М.: Практика, 1998.

4. Воробъева Е.А. и др. Анатомия и физиология. –М.: Медицина. 1988. –432 с.

5. Технические средства медицинской интроскопии. Под ред. Леонова Б. И., 1989.

6. Теория и проектирование диагностической электронно-медицинской аппаратуры. Уч. Пособие// Ахутин В.М. и др. -Л.: Изд-во Лениградского университета. -1994.

7. Рангарадж М. Рангайян Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. – М.: Физматлит, 2007.

8. Федотов А.А., Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. – М.: Радио и связь, 2013. – 250 с. – ISBN 978-5-89776-016-9.

9. Дюк В., Эммануэль В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. СПб.: Питер, 2003. - 528 с.

10. [Ильясова Н.Ю. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики](http://cbook.benran.ru/ris.aspx?par=160097) / Ильясова Н.Ю., Куприянов А.В. , Храмов А.Г. ; акад. Бугаев А.С. (ред.). — М.: Радио и связь, 2012. [Изд. при поддержке РФФИ].

11. Кореневский Н.А., Попечителев Е.П. Проектирование электронной медицинской аппаратуры для диагностики и лечебных воздействий. Курск; СПб., 1999.

12. Линденбратен Л.Д., Королюк И.П.. Медицинская радиология. Учебник для студентов.– М. Медицина. – 2000.

13. Черняев А. П., Лыкова Е. Н., Поподько А. И. Медицинское оборудование в современной лучевой терапии: Учеб. пособие — М.: ООП физического факультета МГУ, 2019.— 101 с.: с ил. — (Библиотека медицинского физика) ISBN 978-5

14. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии. — М.: Мир, 1990. — 288 с.

15. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. — М.: Мир, 1983. — 352 с.

16. Хорнак Дж. П. Основы МРТ (1996—1999) https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside-r.htm

17. Г.А. Бледжянц, М.А. Саркисян, Ю.А. Исакова, Н.А. Туманов, А.Н. Попов, Н.Ш. Бегмуродова. Ключевые технологии формирования искусственного интеллекта в медицине. Ремедиум. Журнал о рынке лекарств и медицинской техники. 2015;(12):10-15. DOI:10.21518/1561-5936-2015-12-10-15

18. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). Морозов С.П., Владзимирский А.В., Кляшторный В.Г., Андрейченко А.Е., Кульберг Н.С., Гомболевский В.А. Москва, 2019. Сер. Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики Том Выпуск 23

**Научная специальность 2.2.14. «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»**

**1. Основы технической электродинамики**

1.1. Уравнения максвелла в основных формах. Материальные уравнения. Комплексная форма уравнений Максвелла. Граничные условия. Плоские волны. Локальное приближение плоской волны для произвольного волнового фронта.

1.2. Лемма Лоренца. Теорема взаимности. Взаимные и невзаимные среды. Примеры невзаимных устройств.

1.3. Электромагнитные потенциалы уравнения Гельмгольца: скалярный и векторный потенциалы. Векторы Герца. Принцип двойственности для уравнений Максвелла.

1.4. Элементарные электромагнитные излучатели: электрический и магнитный диполи, элемент Гюйгенса и их свойства.

**2. Длинные линии**

2.1. Телеграфные уравнения для многопроводных и двухпроводных линий передачи, их вывод и решение. Распространение волны в линии передачи. Линия из двух проводов и ее основные свойства: постоянные распространения и затухания, характеристическое сопротивление, частотная дисперсия.

2.2. Режимы распространения волн в линиях передачи: режим бегущей волны, отражение в линиях передачи, стоячие волны. КСВ и коэффициент отражения.

2.3. Входное сопротивление линии передачи в произвольном сечении. Отрезки линий передачи и шлейфы и их применение в цепях СВЧ. Диаграмма Вольперта-Смита. Согласование импеданса.

**3. Основы теории антенн**

3.1. Проволочные антенны. Полуволновый вибратор. Диаграмма направленности. Сопротивление излучения. Эквивалентная схема Щелкунова.

3.2. Интегральное уравнение для тока на антенне. Вывод уравнения Поклингтона. Уравнение Галлена.

3.3. Метод наведенных ЭДС. Расчет собственного и взаимного импеданса связанных полуволновых вибраторов.

3.4. Антенные решетки. Теорема перемножения. Плоская периодическая антенная решетка с прямоугольной ячейкой. Диаграмма направленности одиночной цепочки элементов: основной и боковые максимумы, сканирование, дифракционные максимумы.

3.5. Излучение из произвольной апертуры в экране в приближении Киргхофа. Прямоугольная апертура. Круглая апертура. Максимальный коэффициент направленного действия апертурной антенны и условия его достижения.

3.6. Рупорные антенны. Диаграмма направленности пирамидального рупора. Коэффициент направленного действия и коэффициент использования поверхности апертуры. Оптимальный рупор.

3.7. Зеркальные антенны. Основные принципы построения параболических антенн. Коэффициент усиления и коэффициент использования поверхности апертуры зеркальных антенн. Механическое сканирования путем перемещения облучателя.

3.8. Микрополосковые (печатные) антенны. Основная мода прямоугольного полоскового резонатора. Диаграмма направленности прямоугольной полосковой антенны. Схемы питания полосковых антенн с линейной круговой поляризацией.

3.9. Расчет шумов в линейных цепях. Эргодические случайные процессы. Тепловой шум, формула Найквиста. Расчет отношения сигнал/шум в радиоканале. Шумовая температура приемной антенны.

**4. СВЧ устройства**

4.1. Аналогия между волноводом и длинной линией. Неоднородности в волноводе. Соединения волноводов. Методы расчета волноводных неоднородностей. Эквивалентные схемы волноводных устройств.

4.2. Матрица рассеяния, ее свойства. Трехплечное взаимное сочленение без потерь. Возможность согласования такого сочленения со всех входов. Четырехплечные сочленения. Матрица передачи.

4.3. Устройства СВЧ: нагрузка, аттенюатор, фазовращатель, направленный ответвитель, диодная секция. Объемные резонаторы. Собственная и нагруженная добротность резонатора.

4.4. Свойства и основные параметры ферритов на СВЧ. Тензор магнитной проницаемости намагниченного феррита. Невзаимные устройства, содержащие ферриты. Типы ферритовых вентилей и принципы их действия. Электрически управляемые элементы тракта: коммутаторы, Y-циркуляторы, фазовращатели.

4.5. Особенности движения электронов в СВЧ поле. Устройство и принцип действия усилителей и генераторов СВЧ: пролетного клистрона, отражательного клистрона, ЛБВ, ЛОВ, магнетрона. Эффект Ганна. Генератор на диоде Ганна.

**Рекомендованная литература для научной специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»**

* + - 1. Сазонов, Дмитрий Михайлович. Антенны и устройства СВЧ : [учебник для вузов по специальности "Радиотехника"] .— М. : Высшая школа, 1988 .— 432 с. : ил. — Библиогр.: с. 426 .— Предм. указ.: с. 427-428.
      2. Нефедов, Евгений Иванович. Устройства СВЧ и антенны / Е. И. Нефедов .— М. : Издательский центр "Академия", 2009 .— 375, [1] с. : ил.
      3. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин [и др.] ; под ред. Г. А. Ерохина, М. : Горячая линия - Телеком, 2007 .— 492 с. : ил.
      4. Электродинамика и распространение радиоволн / Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А. — Москва : Лань", 2014
      5. А. Д. Григорьев Электродинамика и микроволновая техника — Москва : Лань", 2007, - 708 с.
      6. Белоус Анатолий Иванович. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи : техническая энциклопедия : в 2 кн. Кн. 1 / Белоус А.И., Мерданов Мердан Казимагомедович, Шведов Сергей Васильевич. — М. : Техносфера, 2016. — 685 с. : ил.
      7. Зайцев, Эрнст Федорович. Флуктуационные колебания в радиофизике [Текст] : учеб. пособие / Э. Ф. Зайцев ; Ленингр. гос. техн. ун-т. - Ленинград : ЛГТУ, 1990. - 78 с. - Библиогр.: с. 76. - 0.20 р.

# **Specialization 2.2.14. Antennas, microwave devices, and their technologies**

**1. Fundamentals of technical electrodynamics**

1.1. Maxwell's equations in their main forms. Constitutive equations. Maxwell's equations in complex form (for time-harmonic fields). Boundary conditions. Plane waves. Local plane wave approximation for arbitrary wavefront.

1.2. Lorentz lemma (Lorentz reciprocity). Reciprocity principle. Reciprocal and non-reciprocal media. Examples of non-reciprocal devices.

1.3. Electromagnetic potentials in the Helmholtz equation: scalar and vector potentials. Hertz vectors. Duality principle for Maxwell's equations.

1.4. Elementary sources of electromagnetic radiation: electrical and magnetic dipoles, Huygens element, and their properties.

**2. Transmission** **lines.**

2.1. Telegrapher's equations for two- and multiconductor transmission lines, their derivation and solution. Wave propagation in transmission lines. Two-wire line and its basic properties: propagation and attenuation coefficients, characteristic impedance, frequency dispersion.

2.2. Propagation modes in transmission lines: traveling-wave mode, reflection of signal in transmission line, standing waves. Standing-wave ratio (SWR) and reflection coefficient.

2.3. Input impedance of transmission line at an arbitrary section. Segments of transmission lines, stubs, and their use in microwave circuits. Smith chart (Volpert-Smith chart). Impedance matching.

**3. Fundamentals of antenna theory**

3.1. Wire antennas. Half-wave dipole. Radiation pattern. Radiation resistance. Schelkunoff’s equivalent circuit for an antenna.3.2. Integral equation for current distribution in antennas. Derivation of the Pocklington’s equation. Hallen's equation.

3.3. Induced electromotive force method. Calculating self-impedance and mutual impedance between coupled half-wave dipoles.

3.4. Antenna arrays. Pattern multiplication theorem. Flat periodic antenna arrays with rectangular unit cells. Radiation pattern of a single chain of elements: main and side maximums, scanning, diffraction maximums.

3.5. Diffraction of radiation by an arbitrary aperture in a screen in Kirchhoff's approximation. Rectangular aperture. Circular aperture. Maximum directivity of an aperture antenna, and ways of reaching it.

3.6. Horn antennas. Directional pattern of a pyramidal horn antenna. Directivity and aperture efficiency. Optimum horn.

3.7. Parabolic antennas. Key design concepts of parabolic antennas. Gain and aperture efficiency of parabolic antennas. Mechanical scanning using feeder movement.

3.8. Patch antennas. Primary mode of a rectangular stripline resonator. Radiation pattern of a rectangular patch antenna. The power supply diagram of a patch antenna with linear and circular polarization.

3.9. Noise calculation in linear circuits. Ergodic random processes. Thermal noise, the Nyquist formula. Calculating the signal-to-noise ratio in a radio channel. Antenna noise temperature for receivers.

**4. Microwave devices**

4.1. Analogy between a waveguide and a transmission line. Waveguide discontinuities. Waveguide junctions. Methods for calculating waveguide discontinuities. Equivalent circuits of waveguide devices.

4.2. Scattering matrix and its properties. Lossless three-port reciprocal junction. Possibility of the interfacing of such junctions from all ports. Four-port junction. Transfer matrix.

4.3. Microwave devices: microwave load, attenuator, phase shifter, directional coupler, diode block. Cavity resonators. Intrinsic and loaded Q-factor.

4.4. Properties and key parameters of ferrites in microwave applications. Permeability tensor of magnetized ferrites. Nonreciprocal devices based on ferrites. Types of ferrite isolators and their operating principles. Electrically controlled elements of a path: switches, Y-circulators, and phase shifters.

4.5. Motion of electrons in a microwave field. Design and operating principle of microwave amplifiers and oscillators (sources): floating-drift-tube klystron, reflex klystron, traveling-wave tube, backward-wave tube, magnetron. Gunn effect. Gunn diode generator.

**Recommended literature for specialization 2.2.14. Antennas, microwave devices, and their technologies**

* + - 1. Сазонов, Дмитрий Михайлович. Антенны и устройства СВЧ : [учебник для вузов по специальности "Радиотехника"] .— М. : Высшая школа, 1988 .— 432 с. : ил. — Библиогр.: с. 426 .— Предм. указ.: с. 427-428.
      2. Нефедов, Евгений Иванович. Устройства СВЧ и антенны / Е. И. Нефедов .— М. : Издательский центр "Академия", 2009 .— 375, [1] с. : ил.
      3. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин [и др.] ; под ред. Г. А. Ерохина, М. : Горячая линия - Телеком, 2007 .— 492 с. : ил.
      4. Электродинамика и распространение радиоволн / Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А. — Москва : Лань", 2014
      5. А. Д. Григорьев Электродинамика и микроволновая техника — Москва : Лань", 2007, - 708 с.
      6. Белоус Анатолий Иванович. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи : техническая энциклопедия : в 2 кн. Кн. 1 / Белоус А.И., Мерданов Мердан Казимагомедович, Шведов Сергей Васильевич. — М. : Техносфера, 2016. — 685 с. : ил.
      7. Зайцев, Эрнст Федорович. Флуктуационные колебания в радиофизике [Текст] : учеб. пособие / Э. Ф. Зайцев ; Ленингр. гос. техн. ун-т. - Ленинград : ЛГТУ, 1990. - 78 с. - Библиогр.: с. 76. - 0.20 р.

**Научная специальность 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»**

1. Непрерывные, дискретные и случайные процессы. Методы их описания. Нормальные, пуассоновские и марковские процессы.

2. Модели cистем и каналов передачи информации. Аддитивные и мультипликативные помехи в каналах связи. Пропускная способность и основная теорема Шеннона для дискретных и непрерывных каналов с шумами и без шумов.

3. Общие понятия и количественная мера информации. Энтропия источника дискретных и непрерывных сообщений и её свойства. Производительность источника сообщений и его согласование с каналом передачи. Методы статистического кодирования (сжатия) сообщений: коды Шеннона, Хаффмана и др.

4. Методы решения задачи обнаружения, различения и фильтрации сигналов, принимаемых на фоне помех. Оптимальная линейная и нелинейная фильтрация по различным критериям.

5. Элементы теории оптимальных статистических решений. Априорные и апостериорные вероятности, формула Байеса. Функция правдоподобия. Решающие функции и функции потерь. Критерии оптимальности Неймана-Пирсона и Котельникова.

6. Элементы теории линейного и нелинейного разделения сигналов при многоканальной передаче. Частотное, временное и фазовое разделение сигналов. Разделение сигналов по форме.

7. Методы модуляции и детектирования дискретных и непрерывных сигналов. Сравнительная оценка параметров модулированных сигналов при использовании амплитудной (АМ), частотной (ЧМ) и фазовой (ФМ) модуляции. Многократная фазовая и квадратурная АМ модуляции при передаче дискретных сигналов. Ортогональная частотная модуляция.

8. Широкополосные сигналы и их основные свойства. Применение широкополосных сигналов в системах передачи информации.

9. Дискретизация и квантование непрерывных сигналов. Цифровые методы формирования и обработки сигналов. Цифровые фильтры.

10. Потоки событий и их характеристики.

11. Системы обслуживания. Математические модели системы М/М/1, M/G/l, системы приоритетного обслуживания.

12. Нагрузка и методы расчета пропускной способности коммутационных систем.

13. Классификация, элементы и характеристики современных сетей электросвязи.

14. Характеристики основных элементов сети электросвязи: оконечных устройств, линий связи, каналов и трактов связи, станций и узлов. Сравнение способов коммутации в узлах связи (коммутация каналов, сообщений, пакетов, кроссовая коммутация), области их применения. Основные требования к каналам и системам коммутации.

15. Открытые системы. Семиуровневая эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМВОС). Службы и услуги. Архитектура, протоколы и интерфейсы сетей доступа. Виртуальные сети (VPN).

16. Принципы построения мультисервисных транспортных сетей и сетей доступа. Выбор технологии для переноса информации в мультисервисных сетях. Сети подвижной связи второго, третьего и других поколений. Концепция LTE.

17. Структурный анализ и синтез сетей связи. Сеть связи как большая система. Системный подход к анализу и синтезу сетей связи. Распределение каналов на сетях. Методы оптимизации структуры сетей. Оптимизация развивающихся структур. Прогнозирование основных параметров сетей связи. Методы статистического моделирования сетей связи.

18. Программно-конфигурируемые сети. Понятие о виртуализации сетевых функций.

19. Основы теории автоколебаний. Схемы автогенераторов. Методы повышения стабильности частоты. Синтез частот.

20. Управление параметрами высокочастотных колебаний. Виды модуляции (манипуляции), используемые в телекоммуникационных системах. Методы реализации модуляции. Схемы модуляторов. Формирование широкополосных сигналов.

21. Основы нелинейной теории генераторов с внешним возбуждением. Классы и режимы работы. Способы обеспечения широкополосного усиления. Методы повышения энергетической эффективности. Структурные схемы передатчиков телекоммуникационных систем.

22. Основы компьютерного моделирования и схемотехнического проектирования телекоммуникационных устройств. Методы формирования математических моделей и баз данных. Основные математические методы, алгоритмы и комплексы программ.

23. Цифровые системы коммутации, их состав, структура и описание процессов функционирования. Особенности построения управляющих устройств узлов коммутации с программным управлением.

24. Узлы коммутации пакетов, их состав, структура, описание процессов функционирования. Сравнительная характеристика протоколов Х-25, ТСР-IР, АТМ, Ethernet, MPLS. Особенности функционирования узлов быстрой коммутации пакетов.

25. IР-телефония, IP-телевидение.

26. Методы оценки качества передачи информации по аналоговым и цифровым каналам и трактам. Объективные и субъективные методы оценки качества передачи. Принципы нормирования качества передачи информации по каналам и трактам.

27. Принципы построения оптических мультисервисных транспортных сетей на основе технологий: SDH, АТМ, OTN/OTH, ЕоТ, T-MPLS, MPLS-TP. Принципы построения тактовой сетевой синхронизации и распределение тактового синхронизма в транспортных сетях. Принципы управления транспортными сетями.

28. Принципы построения автоматически коммутируемых оптических транспортных сетей ASON. Принципы построения пассивных оптических сетей PON на основе технологий: A-PON, B-PON, E-PON, G-PON.

29. Особенности радиальных и сотовых систем. Основные аналоговые и цифровые стандарты систем транкинговой и сотовой связи. Частотные планы, энергетические параметры, организация многостанционного доступа.

30. Особенности распространения сигналов в условиях городской застройки. Модели радиоканалов и виды замираний. Расчет отношения сигнал-интерференция. Принципы частотно-территориального планирования. Расчет основных энергетических параметров телекоммуникационных систем с подвижными объектами.

31. Способы повышения помехоустойчивости телекоммуникационных систем с подвижными объектами. Виды каналов передачи и управления, их организация и функционирование. Взаимодействие с сетями общего пользования.

32. Средства сетевой безопасности. Принципы защиты транспортных сетей. Защита от несанкционированного доступа.