# ***Программа вступительного экзамена по направлению подготовки 03.06.01«Физика и астрономия»***

**Целью** вступительного испытания является оценка уровня освоения поступающим компетенций, необходимых для обучения по направлению ***«Физика и астрономия»***по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

**Программы вступительных испытаний при приеме на обучение в аспирантуре формируются** на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (СУОС Университета ИТМО) по программам специалитета или магистратуры.

**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.

# **Профиль подготовки 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»**

**1. Общие сведения по метрологии и средствам измерений**

1.1. Измерения и их элементы: физические величины, единицы, средства измерений, методы измерений, результат измерений и погрешность. Международная система единиц (СИ).

1.2. Средства измерений: виды средств измерений, параметры средств измерений и эталоны.

1.3. Погрешности измерений: случайные и систематические, статические и динамические, грубые. Способы обнаружения погрешностей, введение поправок.

**2. Хроматография и разделение веществ**

2.1. Современные методы разделения веществ. Краткая история развития современных методов разделения и хроматографии.

2.2. Классификация хроматографических методов по принципу разделения: адсорбционная, распределительная, ионообхенная, гель-хроматография, аффинная.

2.3. Классификация по способу разделения: фронтальный анализ, вытеснительная хроматография, проявительная хроматография.

2.4. Классификация хроматографии по характеру подвижной фазы: жидкостная, газовая, сверхкритическая флюидная. Основы теории жидкостной хроматографии, описание хроматографического процесса.

2.5. Понятия: "теоретическая тарелка"; время удерживания; удерживаемый объем; разрешение.

2.6. Элементы хроматографической техники: колонки, сорбенты, насосы, дозаторы, регистрирующие устройства, коллекторы фракций. Детекторы: фотометрический, рефрактометрический, флуориметрический, электрохимический.

2.7. Микроколоночная хроматография и ее особенности. Экстракционная и противоточная хроматография. Чувствительность, эффективность и пределы обнаружения хроматографических методов.

2.8. Препаративная жидкостная хроматография. Сочетание хроматографии с другими методами анализа вещества: хромато-масс-спектрометр.

2.9. Перспективы развития хроматографии: сверхкритическая флюидная, капиллярная, имуноаффинная.

2.10. Электромиграционные методы разделения веществ: электрофорез тонкослойный, гель-электрофорез, изотахофорез, изозлектрическое фокусирование.

2.11. Разделение веществ в полях различной физической природы (электрические, тепловые, магнитные поля, поле силы тяжести). Седиментационные методы (аналитическое и проточное

фракционирование, фильтрация и приборы для мембранных процессов.

2.12. Принципы иммуноферментного анализа (ИФА). Гомогенный и гетерогенный иммуноферментный анализ. ИФА на основе «ферментных» каналов, флуориметрический ИФА, ИФА на основе индикаторных полосок. Применение проточно–инжекционных систем и флуоресцентных меток в ИФА.

**3. Масс-спектрометрия, электронно-оптические и ионно-оптические приборы**

3.1. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Уравнения

движения в форме Ньютона и Лагранжа.

3.2. Законы подобия. Параксиальное приближение.

3.3. Электростатические линзы. Магнитные линзы.

3.4. Цилиндрический конденсатор и его фокусирующие свойства. Секторное магнитное поле, его фокусирующие и диспергирующие свойства.

3.5. Масс-спектрометрия как аналитический метод: классификация масс-спектрометрических методов по областям применения. Масс-спекрометр как физический и электронно-оптический прибор. Структурная схема масс-спектрометра, основные узлы и их назначение.

3.6. Источники ионов и виды ионизации (электронный удар, химическая ионизация, поверхностная ионизация, искровой разряд). Анализаторы. Детекторы ионов.

3.7. Типы масс - спектрометров: статические магнитные, статические с двойной фокусировкой, динамические безмагнитные (времяпролетные и квадрупольные), масс-спектрометры, ион – циклотронного резонанса.

3.8. Основные, характеристики масс-спектрометрии: разрешающая способность, диапазон

масс, чувствительность, точность определения массы и амплитуды сигнала.

**4. Методы резонансной спектроскопии**

4.1. Основы ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Ядерные моменты.

4.2. Ядра во внешнем магнитном поле. Свободная и вынужденная прецессия. Уравнение Блоха.

4.3. Ядерный магнитный резонанс. Макроскопическая теория ЯМР. Методы наблюдения ЯМР. Ширина и контур линий ЯМР.

4.4. Ядерная спин-решетчатая и спин-спиновая релаксация. Тонкая структура линий ЯМР.

4.5. Импульсные методы ЯМР. Фурье-спектроскопия ЯМР. Спектрометры ЯМР: основные элементы и принципы работы.

4.6. Постоянные магниты, электромагниты. Сверхпроводящие магниты.

4.7. Квадрупольные эффекты в ЯМР-спектрах. Ядерный квадрупольный резонанс и

спектроскопия ЯКР.

4.8. Методы детектирования ЯКР: стационарные методы наблюдения ЯКР, импульсные методы наблюдения ЯКР.

4.9. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Основные положения. Ширина линий и

сверхтонкая структура ЭПР.

4.10. Техника – ЭПР-спектроскопии. Основные элементы ЭПР спектрометров.

4.11. Эффект Мессбауэра, резонансное рассеяние или поглощение веществом гамма-квантов.

4.12. Основные элементы спектрометра Мессбауэра: источники, детекторы, прецизионные системы перемещения.

**5. Методы и приборы для исследования твердого тела**

5.1. Эмиссионные методы исследования. Термоэлектрическая эмиссия. Автоэлектронная и авто-ионная эмиссия.

5.2. Термическая десорбция. Экзоэлектронная эмиссия. Туннельная микроскопия и спектроскопия.

5.3. Акустические методы исследования. Генерация и детектирование поверхностных акустических волн (ПАВ) .

5.4. Зондирование поверхности электронами и позитронами. Дифракция быстрых и медленных электронов. Виды спектроскопии характеристических потерь энергии.

5.5. Вторичная электронная спектроскопия. Спектроскопия потенциалов появления.

5.6. Зондирование электромагнитным излучением. Инфракрасная спектроскопия поглощения и внутреннего отражения. Фотоэлектронная спектроскопия. Электронная спектроскопия для химического анализа (ЭСХА).

5.7. Мессбауэровская спектроскопия поверхности. Фотоакустическая спектроскопия. Эллипсометрия и спектроэллипсометрия.

5.8. Зондирование поверхности ионами или нейтральными частицами. Масс-спектрометрия вторичных ионов. Ионно-электронная эмиссия.

5.9. Спектроскопия рассеяния быстрых и медленных ионов. Метод рассеяния молекулярного пучка.

5.10. Методы подготовки поверхности и необходимые вакуумные условия. Аппаратура для реализации этих условий.

5.11. Методы получения сверхвысокого вакуума. Насосы электроразрядные, турбомолекулярные, ионно-сорбционные, геттерные, криогенные.

5.12. Сканирующая электронная и ионно-пучковая литография; молекулярно-лучевая

эпитаксия: принципы методов и аппаратура.

5.13. Источники потоков заряженных и нейтральных частиц и электромагнитного излучения. Источники ионной имплантации поверхностей, молекулярные источники.

5.14. Основные источники излучения в видимом УФ, ВУФ, рентгеновском и гамма диапазонах.

**6. Оптические методы и приборы ИК- и УФ-спектроскопии. Лазеры и лазерная спектроскопия**

6.1. Методы спектрального разложения и дисперсионные элементы оптических приборов, применяемые в оптике: призмы, дифракционные решетки, интерферометры, эшелоны и элелетты, Фурье-анализ и Фурье-спектрометры. Селекция оптического излучения, фильтры абсорбционные, интерферометрические, интерференционно-поляризационные.

6.2. Основные типы спектральных приборов: спектрограф, монохроматограф, полихроматограф, спектрометр, квантометр, интерферометр. Приборы на основе волоконно-оптических элементов. Основные характеристики оптических приборов: дисперсия, разрешающая сила, светосила, пропускание, поляризующие свойства спектральных приборов.

6.3. Методы оптической спектроскопии. Атомно-эмиссионная и атомно-абсорбционная спектроскопия. УФ- и ИК-молекулярная спектроскопия. Флуориметрия. Поляриметрия. Эллипсометрия. Светорассеяние.

6.4. Приемники оптического излучения: фотоэмульсии, термопластики, фотоэлементы, фотоумножители, болометры, многоэлементные приемники излучения –фотодиодные линейки, микроканальные пластины, ПЗС.

6.5. Лазеры. Понятия о спонтанном и вынужденном излучении. Двух- и трехуровневая схемы, лазерного излучения. Основные типы лазеров: газовые (ионные, молекулярные), твердотельные, полупроводниковые, жидкостные. Лазеры как источники света для спектроскопии. Лазеры как стандарты частоты.

6.6. Оптические резонаторы. Спектральные, временные и пространственные характеристики лазерного излучения. Нелинейные оптические среды. Генерация, гармоник, суммарной и разностной частот. Параметрическое усиление и генерация. Приемники лазерного излучения.

6.7. Формирование и измерение пико- и фемтосекундных лазерных импульсов. Методы лазерной спектроскопии. Лазерная абсорбционная и флуоресцентная спектроскопия. Внутрирезонаторная спектроскопия. Много-фотонная: спектроскопия.

6.8. Оптоакустическая спектроскопия. Внутридопплеровская лазерная спектроскопия высокого разрешения. Лазерная спектроскопия с временным разрешением, пикосекундная и фемтосекундная спектроскопия.

**7. Аппаратные и программные средства автоматизации**

7.1. Системы автоматизации измерений и управления в физическом эксперименте, и аналитическом приборостроении. Функции ЭВМ и устройств связи с объектом. Магистрально-модульные системы.

7.2. Структура современных измерительно – вычислительных комплексов: состав, основные измерительные и управляющие модули, характеристик ИВК, средства измерений (АЦП, УВХ, коммутаторы), средства выдачи непрерывных сигналов, средства коммутации и ввода-вывода дискретных сигналов.

7.3. Элементная база современной микро-схемотехники (ТТЛ, ЭСЛ, КМОП) Основные схемы: счетчики, регистры, дешифраторы, мультиплексоры, запоминающие устройства, комбинационные схемы. Заказные и полу-заказные БИС.

7.4. Архитектура мини- и микро-ЭВМ, используемых в автоматизации эксперимента: процессор, магистраль, организация памяти, способы адресации. Основные команды. Работа с внешними устройствами. Прерывания и их обработка. Прямой доступ к памяти. Набор внешних устройств.

7.5. Микропроцессорная техника в системе автоматизации эксперимента (580, 1810, 1801,

1816) – процессорные БИС, интерфейсы. Интерфейсы систем автоматизации эксперимента. Принципы организации аппаратуры

7.6. КАМАК - конструктив, электрический и логический стандарты, построение систем. Понятие о "Евроконструктиве", интерфейсах типа VМЕ, И41. Последовательные интерфейсы (ИРПС, С2).

7.7. Локальные сети ЭВМ - архитектура, методы доступа, протоколы управления.

7.8. Программное обеспечение ИВК: системное и прикладное. Операционные системы и их компоненты (мониторы, трансляторы, компоновщики, утилиты). Языки программирования (ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ, АССЕМБЛЕР), средства отладки и редактирования. Примеры ОС: РАФОС, ДЕМОС, МS-DOS, СР/М.

7.9. Разработка программного обеспечения для мини- и микро-ЭВМ. Структура данных, управляющие структуры. Организация работы в реальном времени. Методы организации программ и данных.

7.10. Основные алгоритмы цифровой обработки сигналов. Предварительная обработка экспериментальных данных: статистическая, оптимальное сглаживание, линейная фильтрация, спектральные преобразования. Обнаружение пиков, удаление фона, разделение компонент.

# **Рекомендованная литература для профиля 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»**

1. Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии. М.: Изд. стандартов, 1985.
2. Дупин–Борковский И. В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Изд. стандартов, 1987.
3. Энгельгардт Х. Жидкостная хроматография при высоких давлениях. М.: Мир, 1980.
4. Лабораторное руководство по хроматографическим и смежным методам. Под ред. О.Микеша. М.: Мир, 1986, т. 1, 2.
5. Хроматография. Под ред. Э. Хертмана. М.: Мир, 1986, т 1, 2.
6. Сакодынский К.И. и др. Приборы для хроматографии. М.: Машиностроение.
7. Михофер Г. (ред.) Иммуноферментный анализ. М.: Мир, 1988.
8. Сысоев А.А., Чупахин М.С. Введение в масс-спектрометрию. М.: Атомиздат, 1977.
9. Чепмен Дж., Практическая органическая масс-спектрометрия. М.: Мир, 1988.
10. Сысоев А.А., Физика и техника масс-спектрометрических приборов и электромагнитных установок. М.: Энгергоатомиздат, 1983.
11. Баранова Л.А., Явор С. Я. Электростатические электронные линзы. М.: Наука, 1976.
12. Слиткер Ч. Основы теории магнитного резонанса. М.: Мир, 1981.
13. Гюнтер Х. Введение в курс спектроскопии ЯМР. М.: Мир, 1980.
14. Вертхейм Г. Эффект Мессбауэра. Принципы и применение.
15. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Под ред. Д. Бриг и М. Сиха. М.: Мир, 1987.
16. Нефедов В. М., Черепин В. Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983.
17. Броудой Н., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии.
18. Уэстон Дж. Техника сверхвысокого вакуума. М.: Мир, 1988.
19. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973.
20. Скоков И. В. Оптические спектральные приборы. М.: Машиностроение, 1984.
21. Демтродер В. Лазерная спектроскопия. М.: Наука, 1985.
22. Кондигенко И. И. и др. Физика лазеров. Киев.: Вища школа, 1986, 231с.
23. Певчев Ю.Ф., Финогенов К.Г. Автоматизация физического эксперимента. М.:Энергоатомиздат, 1986.
24. Задков В.Н., Пономарев Ю.В. Компьютер в эксперименте, архитектура и программные средства систем автоматизации. М.: Наука, 1988.
25. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. – в 2-х томах, М.: Мир, 1983.
26. Мячев А.А., Иванов В. В. Интерфейсы вычислительных систем на базе мини- и микро – ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1986.
27. Микропроцессоры. в 3-х томах, под ред. Л.Н. Преснухина, Военная школа, 1983.

# **Профиль подготовки 01.04.02 «Теоретическая физика»**

**Общая часть**

1. Обобщенные координаты. Функция Лагранжа. Принцип наименьшего действия. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии.
2. Движение в центральном поле. Интегралы движения. Уравнение траекторий.
3. Рассеяние частиц неподвижным силовым центром. Дифференциальное сечение рассеяния. Формула Резерфорда.
4. Функция Гамильтона. Каноническая система уравнений.
5. Уравнение Шредингера. Свободная частица и частица в потенциальной яме. Туннельный эффект. Прохождение квантовой частицы через барьер.
6. Нестационарная теория возмущений в квантовой теории: Вероятность квантовых переходов, золотое правило Ферми. Статистика процесса квантовых переходов. Квазистационарные состояния. Ширина энергетических уровней.
7. Оператор момента количества движения. Орбитальный, спиновой и полный момент.
8. Частица в центральном поле. Спектр атома водорода.
9. Уравнение Шредингера для системы, состоящей из одинаковых частиц: Симметричные и антисимметричные волновые функции. Метод самосогласованного поля Хартри — Фока. Статистический метод Томаса — Ферми.
10. Рассеяние быстрых частиц. Приближение Борна.
11. Функции Блоха и функции Ваннье.
12. Зонная структура спектра электрона в твердом теле. Модель Кронига-Пенни
13. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Статистика Больцмана, Статистики Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.
14. Конденсация Бозе –Эйнштейна для трехмерного идеального газа. Сверхтекучесть.
15. Уравнение Клейна — Гордона. Уравнение Дирака. Их физический смысл, решения (для свободной частицы) и основные свойства. Частицы и античастицы.

**Специальная часть**

Математический аппарат теоретической физики

1. Условный экстремум интегрального функционала.
2. Поля экстремалей. Уравнение Гамильтона-Якоби.
3. Метод разделения переменных.
4. Функция Грина для задачи Дирихле оператора Лапласа. Формула Пуассона.
5. Метрические пространства. Полные метрические пространства. Принцип сжимающих отображений.
6. Банаховы и гильбертовы пространства.
7. Ограниченные операторы в банаховых и гильбертовых пространствах.
8. Замкнутые операторы в гильбертовом пространстве. Сопряженный оператор.
9. Симметричные и самосопряженные операторы.
10. Спектр и резольвента.
11. Задача на собственные функции и собственные значения для эрмитовых операторов.
12. Интегральные уравнения Вольтерра.
13. Резольвента Фредгольма. Теоремы Фредгольма для интегральных уравнений.
14. Обобщенные функции.
15. Вторичное квантование. Операторы рождения и уничтожения и их свойства.

# **Рекомендованная литература для профиля 01.04.02 «Теоретическая физика»**

1. Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Курс теоретической физики. Учебное пособие для вузов.

· Том I. Механика

· Том II. Теория поля

· Том III. Квантовая механика. Нерелятивистская теория

· Том IV. Квантовая электродинамика (Авторы: В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский)

· Том V. Статистическая физика. Часть 1.

Том. IX. Статистическая физика. Часть 2. (Авторы: Е. М. Лифшиц, Л.П. Питаевский

1. Давыдов А. С. Квантовая механика: учеб. пособие. — 3 изд., стереотипное. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 704 с.:
2. Морс Ф.М., Фешбах Г., Методы теоретической физики. Т.1 и Т.2, 1958-1960г., изд-во: Издательство Иностранной литературы., : Москва
3. Пескин М., Шрёдер Д. Введение в квантовую теорию поля. — Ижевск: РХД, 2001. — 784 с.
4. Березин Ф. А. Метод вторичного квантования. — 2-е изд., доп. — М.: Наука, 1986. — 320 с.
5. Васильева А. Б., Тихонов Н.А. Интегральные уравнения. - 2-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 160 с.

# **Профиль подготовки 01.04.03 «Радиофизика»**

**1. Линейные и нелинейные колебательные системы**

1.1. Динамические системы. Понятия состояния, движения и колебаний. Число степеней свободы и порядок динамических систем. Фазовое пространство и фазовые траектории как описание колебательных процессов. Методы определения фазовых траекторий. Изоклины и интегральные кривые. Элементы фазового портрета. Особые точки типа центр, фокус, узел, седло.

1.2. Собственные колебания в линейных системах с одной степенью свободы. Уравнение гармонического осциллятора и его решение. Потери в линейных колебательных системах. Собственные колебания в системе двух связанных осцилляторов. Гармоническое воздействие на систему двух связанных осцилляторов.

1.3. Колебание в упорядоченных структурах. Цепочка из связанных осцилляторов. Предельный переход от упорядоченных структур к одномерной сплошной среде. Временная и пространственная дисперсия.

1.4. Вынужденные колебания в линейных системах и системах со слабой нелинейностью. Примеры решения уравнения гармонического осциллятора с заданным внешним воздействием. Силовое и параметрическое воздействие.

1.5. Автоколебательные системы и методы их анализа. Примеры автоколебательных систем с одной и двумя степенями свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах.

1.6. Параметрические системы. Усиление и генерация колебаний в параметрических системах. Уравнения Менли-Роу. Преобразование частоты в периодических системах.

1.7. Устойчивость колебательных систем. Определение устойчивости по Ляпунову. Методы исследования устойчивости стационарных режимов динамических систем. Хаотические колебательные системы. Странный аттрактор. Особенности фазового портрета хаотической динамической системы.

1.8. Собственные и вынужденные колебания в системах с распределенными параметрами. Примеры систем с распределенными параметрами. Волновое уравнение. Фазовая скорость. Дисперсия в системе с распределенными параметрами. Метод разложения по собственным модам при анализе внешнего силового воздействия на распределенные системы.

1.9. Автоколебательные системы на основе систем с распределенными параметрами. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.

**2. Генерирование и преобразование сигналов**

2.1. Квантовые стандарты частоты и времени радиочастотного и оптического диапазонов. Примеры и принципы работы.

2.2. Передача сигналов в волноведущих структурах. Волноводы, длинные линии, волоконные световоды. Критическая частота волновода. Волноводные моды.

2.3. Волны в металлических волноводах. Волны TE, TM, TEM типов. Групповая и фазовая скорости. Объемные резонаторы.

2.4. Взаимодействие потока заряженных частиц со сверхвысокочастотным электромагнитным полем. Группировка носителей зарядов. Принципы передачи и отбора энергии при взаимодействии потока заряженных частиц с полем резонатора. Принципы усиления сверхвысокочастотных сигналов в электронно-вакуумных устройствах.

2.5. Принципы работы и устройство электронно-вакуумных приборов усиления и генерации мощности: лампы бегущей волны, пролетного клистрона, лампы обратной волны, магнетрон, отражательный клистрон.

2.6. Полупроводниковые генераторы СВЧ: генераторы на полевом транзисторе, туннельном диоде, диоде Ганна. Усилитель на основе диода Ганна.

2.7. Явление ядерного магнитного резонанса и его применения. Взаимодействие спинов ядер с радиочастотным магнитным полем. Принципы работы магнитно-резонансной томографии.

2.8. Принципы управления светом. Пространственная модуляция показателя преломления акустической волной. Акустооптические устройства: модуляторы, дефлекторы, фильтры. Управление светом при помощи электрооптического и магнитооптического эффектов.

**3. Излучение, распространение и прием электромагнитных волн**

3.1. Уравнения электромагнитного поля. Граничные условия. Материальные параметры изотропных и анизотропных сред. Уравнения Максвелла для гармонического режима. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.

3.2. Электродинамические потенциалы и векторы Герца. Метод функции Грина. Элементарные источники поля: диполь Герца, магнитный диполь, источник Гюйгенса.

3.3. Излучение электромагнитных волн электрическим диполем Герца. Понятия ближней, промежуточной и дальней зоны (зоны излучения). Диаграмма направленности. Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления. Виды антенн радиочастотного диапазона. Оптические наноантенны.

3.4. Периодические структуры. Фазированные активные решетки. Принципы получения направленного излучения и управления главным максимумом диаграммы направленности. Отражательные и проходные решетки.

3.5. Дифракция электромагнитных волн на периодических структурах: отражательные и проходные дифракционные решетки. Электромагнитные метаматериалы и метаповерхности.

3.6. Явление дифракции электромагнитных волн. Дифракция плоской волны на бесконечном металлическом цилиндре. Дифракция плоской волны на металлической сфере. Строгое решение методом разделения переменных. Понятие об эффективной поверхности рассеяния.

3.7. Асимптотические методы расчета поля излучения: метод физической оптики. Метод геометрической оптики. Примеры применения к расчету волновых фронтов.

3.8. Излучение из прямоугольной апертуры в металлическом экране. Приближение Кирхгофа. Принципы работы и параметры зеркальных и линзовых антенн радиочастотного диапазона.

3.9. Излучение абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Закон Вина. Формула Планка. Виды шумов в радиодиапазоне.

3.10. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах. Волны в холодной плазме. Волны в намагниченном феррите. Эффект Фарадея. Понятие бианизотропии и ее виды.

3.11. Основные принципы и области применения численных методов решения задач электродинамики: метод моментов, метод конечных элементов, метод конечных разностей во временной области.

3.12. Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Окна прозрачности атмосферы: связь с космическими объектами.

# **Рекомендованная литература для профиля 01.04.03 «Радиофизика»**

1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. 3-е изд. Ленанд, 2015.
2. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Основы теории колебаний и волн. М.: Наука, 1987.
3. Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний. - М.: Наука, 2006. - 471 с.
4. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987.
5. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989.
6. Ю.В. Пименов, В.И. Вольман, А.Д. Муравцов.Техническая электродинамика. М.: Радио и связь, 2002. - 536 с.
7. Григорьев А.Д. Электродинамика и микроволновая техника. Изд-во «Лань», 2007.
8. Устройства генерирования и формирования радиосигналов / Под ред. Г.М. Уткина, В.Н. Кулешова, М.В. Благовещенского. - М.: Радио и связь, 1994.
9. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике Учеб. пособие для физ. спец. вузов. - М.: Наука, 1983

**Дополнительная литература:**

1. Уфимцев П. Я. Теория дифракционных краевых волн в электродинамике. Введение в физическую теорию дифракции. Издание второе, М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012
2. Хёнл X, Мауэ А, Вестпфаль К Теория дифракции (М.: Мир, 1964)
3. Андронов А.А, Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981.
4. Вайнштейн Л А Электромагнитные волны 2-е изд. (М.: Радио и связь, 1988)
5. Ваганов Р.Б., Каценеленбаум Б.З. Основы теории дифракции (М.: Наука, 1982)
6. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
7. Симовский К.Р. Слабая пространственная дисперсия в композиционных средах. СПб.: Политехника. 2003
8. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974.
9. Гауер Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989.
10. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981.
11. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Сов. радио, 1973.
12. Theory and Phenomena of Metamaterials. Metamaterials Handbook. Filippo Capolino CRC Press, 2009
13. Superdirective dielectric nanoantennaю. Alexandr Krasnok, Constantin Simovski, Pavel Belov, and Yuri S. Kivshar. Nanoscale, vol. 6, pp. 7354-7361, 2014
14. Зверев В.А. Радиооптика. М.: Сов. радио, 1975.
15. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. М.: Наука, 1999.
16. Боровиков В.А., Кинбер Б.Е. Геометрическая теория дифракции. М.: Связь, 1978

**Profile PhD doctoral program 01.04.03 "Radio Science"**

1. Linear and nonlinear oscillatory systems

1.1. Dynamic systems. The concepts of state, movement and oscillation. The number of degrees of freedom and the order of dynamical systems. Phase space and phase trajectories as a description of oscillatory processes. Methods for determining phase trajectories. Isoclines and integral curves. Elements of the phase portrait. Singular points such as center, focus, node, saddle.

1.2. Eigen-oscillations in linear systems with one degree of freedom. Harmonic oscillator equation and its solution. Losses in linear oscillatory systems. Eigen-oscillations in the system of two coupled oscillators. The harmonic effect on the system of two coupled oscillators.

1.3. Oscillations in ordered structures. Chain of coupled oscillators. Limit transition from discrete ordered structures to a one-dimensional continuous medium. Temporal and spatial dispersion.

1.4. Forced oscillations in linear systems and systems with weak nonlinearity. Examples of solving a harmonic oscillator equation with a given external force. Power and parametric force cases.

1.5. Self-oscillatory systems and methods for their analysis. Examples of self-oscillator.

1.6. y systems with one and two degrees of freedom. Energy relations in self-oscillatory systems. Parametric systems. Gain and oscillation generation in parametric systems. Manley-Rowe equations. Frequency conversion in periodic systems.

1.7. Stability of oscillatory systems. Determination of stability according to Lyapunov. Methods for studying the stability of stationary modes of dynamic systems. Chaotic oscillatory systems. Strange attractor. Features of the phase portrait of a chaotic dynamic system.

1.8. Eigen- and forced oscillations in systems with distributed parameters. Examples of systems with distributed parameters. Wave equation. Phase speed. Dispersion in a system with distributed parameters. The method of eigenmodes decomposition in analyzing the external force effect on distributed systems.

1.9. Self-oscillatory systems based on systems with distributed parameters. Conditions of self-excitation. Singlemode and multimode generation modes.

2. Generation and conversion of signals

2.1. Quantum frequency and time standards in the radio frequency and optical ranges. Examples and principles of operation.

2.2. Signal transmission in waveguide structures. Waveguides, transmission lines, optical fibers. The cut-off frequency of the waveguide. Waveguide modes.

2.3. Waves in metal waveguides. Waves of TE, TM and TEM types. Group and phase velocities. Cavity resonators.

2.4. Interaction of a stream of charged particles with a superhigh-frequency electromagnetic field. Grouping charge carriers. Principles of energy transfer and selection in the interaction of a stream of charged particles with a resonator field. Principles of amplification of microwave signals in electronic vacuum devices.

2.5. The principles of operation of electron-vacuum devices for amplifying and generating power: traveling-wave tube, transit klystron, backward-wave tube, magnetron, reflective klystron.

2.6. Semiconductor microwave generators: generators on a field-effect transistor, a tunnel diode, a Gunn diode. Gunn diode-based amplifier.

2.7. The phenomenon of nuclear magnetic resonance and its application. Interaction of nuclear spins with a radio frequency magnetic field. Principles of magnetic resonance imaging.

2.8. Principles of light control. Spatial modulation of the refractive index by an acoustic wave. Acousto-optic devices: modulators, deflectors, filters. Light control using electro-optical and magneto-optical effects.

3. Radiation, propagation and reception of electromagnetic waves

3.1. The electromagnetic field equations. Boundary conditions. Material properties of isotropic and anisotropic media. Maxwell's equations for harmonic mode. Lorentz theorem. Reciprocity principle.

3.2. Electrodynamic potentials and Hertz vectors. Green function method. Elementary sources of the field: Hertz dipole, magnetic dipole, Huygens source.

3.3. Electromagnetic wave radiation of Hertz electric dipole. The concepts of near-, intermediate- and far-field zone (radiation zone). Radiation pattern. Directivity and gain. Types of radio frequency antennas. Optical nanoantennas.

3.4. Periodic structures. Phased antenna arrays. Principles of directive radiation and control of the main maximum of the radiation pattern. Reflect- and transmit-arrays.

3.5. Diffraction of electromagnetic waves on periodic structures: reflective and transmission diffraction gratings. Electromagnetic metamaterials and metasurfaces.

3.6. The phenomenon of diffraction of electromagnetic waves. Diffraction of a plane wave on an infinite metallic cylinder. Diffraction of a plane wave on a metallic sphere. Exact analytical method of separation of variables. The concept of scattering and radar cross-section.

3.7. Asymptotic methods for calculating the radiation field: the method of physical optics. Geometrical optics method. Examples of application to the calculation of wave fronts.

3.8. Radiation from a rectangular aperture in a metal screen. Kirchhoff approximation. The principles of operation and parameters of reflector and lens antennas operating in the radio frequency range.

3.9. Radiation of the black body. Stefan-Boltzmann law. Wine’s law. Planck’s formula. Types of noise in the radio-frequency range.

3.10. The propagation of electromagnetic waves in anisotropic media. Waves in cold plasma. Waves in magnetized ferrite. Faraday effect. The concept of bianisotropy and its types.

3.11. Basic principles and applications of numerical methods in electrodynamics: the method of moments, the finite element method, the method of finite differences in the time domain.

3.12. The propagation of radio waves near the surface of the Earth. Scattering and absorption of radio waves in the troposphere. The tropospheric waveguide. The propagation of radio waves in the ionosphere. Dispersion and absorption of radio waves in the ionospheric plasma. Ionospheric refraction. Atmospheric transparency windows: communication with space objects.

**References**

Basic part

1. Classical electrodynamics. J. Jackson. Wiley, New York, NY, 3rd ed. edition, (1999)

2. Electromagnetic Theory. J. Stratton. McGraw-Hill Companies (New York), 1 edition, (1941)

3. Theory of Diffraction. H. Hönl, A. W. Maue, R. Westpfahl, Department of the Navy, Naval Intelligence Support Center, (1978)

4. Antennas and radiowave propagation. Robert E. Collin, McGraw-Hill Higher Education, (1985)

5. The physics of vibrations and waves, Herbert John Pain, Wiley, (1993)

6. Electromagnetic Waves: Propagation in Complex Matter. Ahmed Kishk, BoD – Books on Demand, (2011)

7. Computational Electromagnetics. Thomas Rylander, Pär Ingelström, Anders Bondeson, Springer Science & Business Media, (2012)

8. An Introduction To Electromagnetic Wave Propagation And Antennas. Shane Cloude, CRC Press, (1995)

**Further reading**

1. Theory of Edge Diffraction in Electromagnetics: Origination and Validation of the Physical Theory of Diffraction, P.Ya. Ufimtsev, Institution of Engineering and Technology, (2009)

2. Composite Media with Weak Spatial Dispersion, Constantin Simovski, CRC Press, (2018)

3. Analytical Modeling in Applied Electromagnetics, Sergei Tretyakov, Artech House, (2003)

4. Theory and Phenomena of Metamaterials, Filippo Capolino, CRC Press, (2017)

5. Krasnok, Alexander E., et al. "Superdirective dielectric nanoantennas." Nanoscale 6.13 (2014): 7354-7361.

**Профиль подготовки 01.04.05 «Оптика»**

1. Уравнения Максвелла в пустом пространстве и в веществе. Заряды и токи. Материальные уравнения. Неоднородные и однородные волновые уравнения.
2. Баланс энергии поля. Вектор Пойтинга.
3. Волновое уравнение. Плоские и сферические волны. Фазовая и групповая скорости света.
4. Поляризация света. Параметры Стокса. Сфера Пуанкаре. Типы поляризационных устройств.
5. Отражение и преломление света на границе раздела изотропных сред. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение.
6. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Отражение света от поверхности проводника. Глубина проникновения.
7. Распространение света в анизотропных и гиротропных средах. Волновые поверхности в кристаллах. Лучи и волновые нормали. Эллипсоид Френеля. Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов. Двойное лучепреломление.
8. Электрооптические эффекты Керра и Поккельса. Оптическая активность. Эффект Фарадея.
9. Геометрическая оптика. Геометрооптическое приближение. Уравнение эйконала. Область применения лучевого приближения. Принцип Ферма.
10. Понятие оптического изображения. Параксиальное приближение. Преломление на сферической поверхности. Сферические зеркала и линзы. Образование каустик в оптических системах.
11. Интерференция частично когерентного излучения. Комплексная степень когерентности.
12. Двулучевая и многолучевая интерференция. Многослойные покрытия.
13. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
14. Влияние дифракции на разрешающую силу систем, образующих изображение. Дифракционная решетка.
15. Классическая теория взаимодействия излучения с веществом. Резонансное приближение. Нормальная и Аномальная дисперсии. Соотношения Крамерса-Кронига.
16. Законы теплового излучения. Формула Планка.
17. Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля.
18. Однофотонные и многофотонные процессы. Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Квадрупольные и магнито-дипольные переходы.
19. Кооперативные эффекты. Сверхизлучение.
20. Комбинационное рассеяние света.
21. Нелинейные восприимчивости. Распространение волн в нелинейной среде. Метод медленно меняющихся амплитуд. Условие синхронизма.
22. Генерация оптических гармоник. Трехволновое взаимодействие. Параметрическое преобразование частоты. Самофокусировка света.
23. Временная и пространственная когерентность световых полей; корреляционные функции первого и высших порядков. Спектральное представление.
24. Оптически индуцированные электронные переходы в идеальных полупроводниках. Длинноволновый край поглощения. Взаимодействие света с фононной подсистемой.
25. Запрещенная зона и область прозрачности в диэлектрических кристаллах. Экситоны Ванье-Мотта и Френкеля. Область фундаментального поглощения.
26. Люминесценция. Классификация люминесценции по длительности свечения и способу ее возбуждения. Закон Стокса-Ломмеля.

**Рекомендованная литература для профиля 01.04.05 «Оптика»**

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970.
2. Королев Ф.А. Теоретическая оптика. М.: Высшая школа, 1966.
3. Матвеев А.Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: Наука, 1980.
5. Шерклиф У. Поляризованный свет. М.: Мир, 1965.
6. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и опти-ку. М.: Наука, 1981.
7. Гудмен Дж. Статистическая оптика. М.: Мир, 1988.
8. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Физматлит, 2000.
9. Солимено С., Крозиньяни Б., Порто П. Дифракция и волноводное распространение оптиче-ского излучения. М.: Мир, 1989.
10. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М.: Мир, 1972.
11. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. М.: Наука, 1986
12. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989.
13. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматгиз, 1962.
14. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: Физматгиз, 1963.
15. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
16. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию твердого тела. М.: Изд-во МГУ, 1987.
17. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерения. (молекулярная люминесцен-ция). М.: Изд-во МГУ, 1989.
18. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М.: Высшая школа, 1971.
19. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.: Изд-во МГУ, 1994.
20. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Ч.1: Молекулярная спектроскопия. М.: Изд-во МГУ, 1994.
21. Тернов И.М., Михайлин В.В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. М.: Энерго-атомиздат, 1986.
22. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М.: Мир, 1970.
23. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: Высшая школа, 1983.
24. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988.
25. Корниенко Л.С., Наний О.Е. Физика лазеров. Ч.1, 2. М.: Изд-во МГУ, 1996.
26. Мэйтленд А., Данн М. Введение в физику лазеров. М.: Наука, 1978.
27. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. М., 1999.
28. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1990.
29. Парыгин В.Н., Балакший В.И. Оптическая обработка информации. М.: Издательство МГУ, 1987.
30. Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики. М.: Наука, 1985.
31. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 1,2. M.: Мир, 1981.

**Профиль подготовки 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»**

1. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов. Ячейка Вигнера-Зейтца.
2. Обратная решетка. Векторы обратной решетки и атомные плоскости. Обратное пространство и зона Бриллюэна.
3. Дифракция рентгеновских лучей. Картины Лауэ и Брэгга.
4. Граничные условия Борна — Кармана. Теорема Блоха.
5. Блоховские волны. Явления на границе зоны Бриллюэна.
6. Теплопроводность. Эффекты Видемана-Франца и Зеебека в теории Друде и в теории Зоммерфельда.
7. Ионная связь.
8. Ковалентная связь.
9. Закон Гука для изотропной сплошной среды и для кристалла.
10. Реальные кристаллы. Точечные дефекты, дислокации и включения. Их характеристики.
11. Дислокации и физико-механические свойства твердых тел.
12. Фазовые переходы в твердых телах.
13. Колебания трехмерных решеток. Акустические и оптические моды.
14. Квантование колебаний решетки. Фононы.
15. Теплоемкость решетки. Модели Эйнштейна и Дебая.
16. Методы расчета зонной структуры твердых тел в приближении слабой связи.
17. Диэлектрики, металлы и полупроводники (собственные и примесные).
18. Взаимодействие электронов с акустическими фононами. Деформационный потенциал.
19. Взаимодействие электронов с оптическими фононами.
20. Межзонное и внутризонное оптическое поглощение.
21. Экситоны в твердых телах (экситоны Ванье-Мотта и Френкеля, оптические свойства тел).
22. Виды комбинационного рассеяния света. Механизмы комбинационного рассеяния в твердых телах. Рамановская спектроскопия.
23. Коллективные возбуждения в конденсированных средах. Объемные и поверхностные плазмоны.
24. Законы отражения и преломления света. Явление полного внутреннего отражения.
25. Прохождение поляризованного света через границу диэлектрика. Формулы Френеля. Угол Брюстера.
26. Двойное лучепреломление.
27. Электрооптические эффекты (линейный и квадратичный).
28. Линейный магнитооптический эффект.
29. Размерное квантование. Структуры с квантовыми ямами, нитями и точками.
30. Магнетизм в твердых телах. Диа- и парамагнетизм. Ферромагнетизмы. Спиновые цепочки.

**PhD specialization 01.04.07 «Condensed State Physics»**

1. Crystal structures. Symmetry of crystals. Wigner-Seitz cell.
2. Reciprocal lattice and Brillouin zone. Reciprocal lattice vectors and atomic planes.
3. X-ray diffraction. Laue diffraction pattern and Bragg diffraction pattern.
4. Bloch’s theorem.
5. Diffraction of Bloch waves. Phenomena at the boundary of the Brillouin zone.
6. Thermal conductivity. The Wiedemann-Franz law and the Seebeck effect in the Drude theory and in the Sommerfeld theory.
7. Ionic bond.
8. Covalent bond.
9. Hooke's law for isotropic continuous media and for crystals.
10. Real crystals. Point defects, dislocations and inclusions. Their characteristics.
11. Dislocations and physical and mechanical properties of solids.
12. Phase transitions in solids.
13. Three-dimensional (3D) lattice vibrations. Acoustic and optical modes.
14. Quantization of lattice vibrations. Phonons.
15. Lattice heat capacity. Einstein and Debye models.
16. Methods for band structure calculations in solids. Weak binding approximation.
17. Dielectrics, metals, and semiconductors (intrinsic and extrinsic).
18. Interaction of electrons with acoustic phonons. Deformation potential.
19. Interaction of electrons with optical phonons.
20. Types of optical transitions in solids.
21. Excitons in solids (Wannier-Mott and Frenkel excitons, optical properties of solids).
22. Types of Raman scattering. Raman scattering mechanisms in solids. Raman spectroscopy.
23. Collective excitations in condensed matter. Volume and surface plasmons.
24. The laws of reflection and refraction of light. Total internal reflection.
25. The passing of polarized light through the boundary of a dielectric. Fresnel formulas. Brewster's angle.
26. Birefringence.
27. Electro-optical effects (the linear and quadratic ones)
28. Linear magneto-optical effect.
29. Dimensional quantization. Structures with quantum wells, wires, and dots.
30. Magnetism in solids. Dia- and paramagnetism. Ferromagnetisms. Spin chains.

**Профиль подготовки 01.04.10 «Физика полупроводников»**

1. Электростатика. Метод изображений. Принцип суперпозиции. Электрическое поле диполя.

2. Уравнения Пуассона и Лапласа. Задача Дирихле. Задача Неймана. Задача Робена.

3. Потенциал электрического поля. Энергия электрического поля. Электрическая емкость проводников и конденсаторов. Объемная плотность энергии электрического поля.

4. Операторы физических величин. Теорема Гаусса. Теорема Ирншоу.

5. Вектор электрической поляризации. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость.

6. Линейная, эллиптическая и круговая поляризация. Оптическая активность.

7. Законы термодинамики. Термодинамические потенциалы.

8. Основные принципы статистики. Статистика Ферми – Дирака. Статистика Максвелла – Больцмана. Статистика носителей заряда в полупроводниках.

9. Интерференция. Дифракция. Дифракционная решетка и ее разрешающая способность.

10. Зонная структура полупроводников. Плотность числа электронных состояний в зоне.

11. Распределение света в веществе. Показатель преломления. Формулы Френеля. Двойное лучепреломление.

12. Структура кристаллов. Химические связи в кристаллах. Ковалентные кристаллы. Ионные кристаллы.

13. Амплитуды вероятности и волновая функция. Уравнение Шредингера. Зона Бриллюэна.

14. Квантовая теория гармонического кристалла. Фононы. Законы дисперсии фононов

15. Элементы зонной теории кристаллов. Метод слабой и сильной связи. Псевдопотенциал.

16. Понятие о p – n переходе. Равновесный и неравновесный p – n-переход. Плавный и резкий p – n-переход. Барьерная емкость. Омический переход.

17. Электромагнитные волны. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Ток смещения.

18. Собственные и примесные полупроводники. Уровень Ферми. Населенность примесных уровней при термодинамическом равновесии. Равновесная концентрация носителей в примесном полупроводнике.

19. Движение зарядов в электрическом и магнитном полях. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла.

20. Кристаллические решетки. Симметрия. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Бравэ. Координационное число.

21. Упругость. Закон Гука в изотропном и анизотропном приближении. Тензор напряжений, тензор деформаций.

22. Заполнение зон: металлы, диэлектрики и полупроводники. Электропроводность полупроводников. Понятие о дырочной проводимости. Уравнения переноса.

23. Уровни электрона в периодическом потенциале. Теорема Блоха. Граничное условие Борна — Кармана.

24. Влияние поверхности на энергию связи электрона. Работа выхода. Контактная разность потенциалов.

25. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты. Линейные дефекты. Дефекты упаковки.

26. Дифракция рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность формулировок Брэгга и Лауэ. Дифракция на монокристалле.

27. Лавинный, туннельный и тепловой пробой в p – n-переходе. Переходные процессы в p – n-переходе.

28. Дипольные моменты в прямозонных полупроводниках. Оптическая восприимчивость. Спонтанное излучение. Бимолекулярная рекомбинация.

29. Квантовая яма. Оптические межзонные и межподзонные переходы. Квантово-размерный эффект Штарка.

30. Удельная теплоемкость кристаллической решетки. Тепловое расширение кристаллов. Рассеяние на кристаллической решетке.

**Рекомендованная литература для профиля подготовки 01.04.10 «Физика полупроводников»**

1. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. 1, 2 //М: Мир. – 1979.
2. Киттель Ч. Квантовая теория твёрдых тел. – Рипол Классик, 2013..
3. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. – 1977.
4. Лангдсберг Г.С. Оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
5. Вонсовский С. В., Кацнельсон М. И. Квантовая физика твердого тела. – 1983.
6. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. – Техносфера, 2006.
7. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. – Лань, 2009.
8. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников=. – Лань, 2008.
9. Зегря Г. Г., Перель В. И. Основы физики полупроводников. – М.: Физматлит. – 2009.
10. Сивухин С.П. Общий курс физики т.т.1-5. —М., Наука, 2000
11. Матвеев А.И., Молекулярная физика. –М., Высшая школа, 1981. – 400с.

# **Профиль подготовки 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»**

1. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе.
2. Идеальный газ. Процессы идеального газа.
3. Процесс сжатия газа в компрессоре.
4. Первый закон термодинамики. Энтальпия.
5. Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы
6. Энтропия. Изменения энтропии в необратимых процессах.
7. Цикл воздушной холодильной машины.
8. Эффект Джоуля-Томсона. Адиабатное дросселирование.
9. Фазовые переходы первого и второго рода. Условия равновесия фаз. Критическая точка.
10. Реальные газы. Уравнение состояния. Изотермы Ван-дер-Ваальса.
11. Явления переноса: диффузия, вязкость и теплопроводность.
12. Дифференциальное уравнение теплопроводности в твердом теле.
13. Методы определения коэффициента теплопроводности.
14. Излучение абсолютно черного тела. Закон Кирхгофа. Законы Стефана-Больцмана и Вина.
15. Теплообмен излучением при наличии экрана.
16. Теория подобия. Основные критерии подобия для расчета процессов конвективного теплообмена.
17. Теплоотдача при вынужденном движении жидкостей и газов в трубах и каналах.
18. Свободноконвективный теплообмен тела в неограниченном пространстве.
19. Свободноконвективный теплообмен в замкнутых полостях.
20. Теплоотдача при кипении.
21. Теплоотдача при конденсации пара.
22. Оребрение как средство интенсификации теплопередачи.
23. Классификация теплообменных аппаратов. Конструктивные типы аппаратов.
24. Конструкторский расчет рекуперативных теплообменных аппаратов.
25. Температурные шкалы. Термодинамическая шкала. Международная температурная шкала.
26. Газовые и жидкостные термометры, их принцип действия и конструктивные особенности.
27. Термоэлектрические методы и средства измерения температур.
28. Теплообмен при внешнем обтекании вынужденным потоком одиночных цилиндров и трубных пучков.
29. Термометры сопротивления. Материалы, устройства, характеристики и области применения.
30. Лучистый теплообмен между двумя параллельными поверхностями.

**Профиль подготовки 01.04.21 «Лазерная физика»**

* + - 1. Принципы работы лазера. Основные свойства лазерного излучения. Энергетические уровни атомов, молекул, кристаллов. Индуцированные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна. Вероятности переходов, золотое правило Ферми. Однородное и неоднородное уширения линии излучения. Пространственная когерентность лазерного излучения. Временная когерентность лазерного излучения. Инверсия населенностей в лазере. Методы создания и назначение. Эффект насыщения. Трех- и четырехуровневые схемы генерации лазеров. Активные среды твердотельных лазеров. Полупроводниковые лазеры: классификация, принципы работы, особенности.
      2. Оптика лазерных резонаторов. Пассивные и активные резонаторы. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Поляризация света. Матрицы Джонса. Вектора поляризации мод резонатора. Методы селекции мод резонаторов. Селекция продольных, поперечных, поляризационных мод в резонаторе: принципы и методы экспериментальной реализации. Подавление двунаправленной генерации в кольцевом резонаторе. Взаимные и невзаимные оптические элементы.
      3. Динамика генерации лазеров. Линейный и нелинейный этапы генерации. Фазовый портрет лазера. Полуклассическая модель взаимодействия излучения с веществом. Уравнения Максвелла-Блоха и модель Лоренца-Хакена. Динамические классы лазеров.
      4. Режимы генерации лазеров. Методы реализации модуляции добротности: насыщающийся поглотитель, вращающееся зеркало, электрооптический модулятор, акустооптический модулятор, ОВФ-зеркало. Синхронизация мод: гребенки оптических частот, модель Хауса. Методы синхронизации мод: насыщающийся поглотитель, электрооптический модулятор, акустооптический модулятор, эффект Керра. Ультракороткие лазерные импульсы: генерация, усиление, диагностика.
      5. Термооптика твердотельных лазеров. Основные тепловые эффекты в лазерах: тепловая линза, деполяризация, механическое разрушение. Критерии оценки качества пучка. Термически-индуцированное двулучепреломление. Методы подавления и компенсации тепловых эффектов.
      6. Преобразование частоты лазерного излучения. Генерация гармоник лазерного излучения. Параметрические генераторы света. Вынужденное комбинационное рассеяние. Рамановские лазеры.
      7. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Линейные режимы лазерного нагрева материалов, оценки температуры в области лазерного воздействия для типичных режимов. Механизмы разрушения

материалов под действием лазерного излучения (краткая характеристика основных механизмов разрушения).

* + - 1. Взаимодействие лазерного излучения с биотканями. Коагуляция, карбонизация и абляция биотканей. Механизмы и модели лазерной абляции биотканей. Лазеры для хирургии мягких и твердых биотканей. Законы, описывающие распространение света в биотканях. Основные оптические характеристики биотканей. Спектры пропускания, поглощения и рассеяния биотканей. Лазеры для диагностики и низкоинтенсивной терапии.
      2. Методы и схемы лазерной спектроскопии. Классификация линейных методов. Абсорбционная спектроскопия. Спектроскопия возбуждения. Оптоакустическая спектроскопия. Спектроскопия лазерного магнитного резонанса. Штарковская спектроскопия. Закон Бугера. Связь поглощения и дисперсии, соотношения Крамерса-Кронига.
      3. Нелинейная лазерная спектроскопия. Спектроскопия насыщения, стабилизация частоты генерации лазеров. Лазерная внутридоплеровская спектроскопия. Поляризационная спектроскопия. Спектроскопия гетеродинирования. Спектроскопия с временным разрешением. Принципы многофотонной спектроскопии. Лазерная спектроскопия комбинационного рассеяния. Спектроскопия комбинационного антистоксова рассеяния.
      4. Кооперативные эффекты в оптике. Самоиндуцированная прозрачность. Одномодовая модель сверхизлучения. Сверхизлучение систем с размерами меньше длины волны излучения. Сверзизлучение протяженных систем. Сверхизлучение при комбинационном рассеянии света.

**Рекомендованная литература для профиля подготовки 01.04.21 «Лазерная физика»**

Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. – М.: Наука: ФИЗМАТЛИТ, 1999.

Звелто О. Принципы лазеров / О. Звелто; пер. с англ. Д.Н. Козлова [и др.]; под науч. ред. Т. А. Шмаонова. – Изд. 4-е. – СПб. [и др.]: Лань, 2008.

Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. – М.: Физматлит, 2000.

Лангдсберг Г.С. Оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

Мезенов А.В., Сомс Л.Н., Степанов А.И. Термооптика твердотельных лазеров – Л.: Машиностроение, 1986.

Быков В. П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.

Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. –2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.

Летохов В.С., Чеботаев В.П. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. – М.: Наука, 1990.

Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990.

Тучин, В. В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике / В. В. Тучин. — М.: Физматлит, 2013. — 818 с.

Лазерная инженерия хрящей / под ред. В.И.Багратишвили, Э.Н.Соболя, А.Б.Шехтера. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.

В.П. Вейко, М.Н. Либенсон, Г.Г. Червяков, Е.Б. Яковлев. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Под редакцией чл.-корр. РАН В.И. Конова. Физматлит. М.: 2008 г.

Л. Аллен, Дж. Эберли. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. — М.: Мир, 1978.

Андреев А. В. и др, Кооперативные явления в оптике: Сверхизлучения. Бистабильность. Фазовые переходы. М.: Наука, 1988