

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук**

СОГЛАСОВАНО
Ученым советом ТОИ ДВО РАН
протокол № 11 от «06» октября 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ТОИ ДВО РАН
академик РАН
Г.И. Долгих
« 06 » октября 2022 г.



ПРОГРАММА
вступительного экзамена в аспирантуру
по научной специальности 1.3.4. Радиофизика

Владивосток
2022

Настоящая программа разработана на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры, паспорта научной специальности, разработанного экспертным советом ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Раздел 1. ФИЗИКА

1.1. Механика

1. Основные законы механики. Пространство и время в физике. Способы измерения протяженности и длительности (в лабораторной практике, в космических масштабах, в микромире). Материальная точка. Инерциальная система отсчета. Явление инерции. Первый закон Ньютона. Движение материальной точки под действием силы. Масса как мера инертности. Второй закон Ньютона. Взаимодействие материальных точек. Третий закон Ньютона. Гравитационное поле. Масса как источник гравитационного поля. Закон всемирного тяготения. Равенство гравитационной и инертной масс. Движение материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета. Сила инерции. Сила Кориолиса. Движение абсолютно твердого тела. Вращательное движение. Угловая скорость. Плоское движение. Движение вокруг закрепленной точки. Углы Эйлера. Тензор инерции. Главные оси инерции тела. Уравнения Эйлера.

2. Законы сохранения в механике. Импульс материальной точки. Закон изменения и сохранения импульса. Столкновение тел. Момент импульса. Закон изменения и сохранения момента импульса. Момент силы. Движение под действием момента сил. Механическая работа. Энергия. Кинетическая и потенциальная энергия системы материальных точек тела и системы тел. Закон сохранения механической энергии. Связь законов сохранения со свойствами пространства-времени. Роль законов сохранения в механике. Движение в центральном поле. Задача двух тел. Законы Кеплера. Рассеяние частиц.

3. Принцип относительности в механике. Принцип относительности Галилея. Преобразование Галилея. Сложение скоростей в классической физике. Принцип относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Сокращение длин и замедление времени. Сложение скоростей в релятивистской физике. Эквивалентность массы и энергии. Импульс и энергия релятивистской частицы. Релятивистское уравнение движения.

4. Механические колебания и волны. Условие возникновения колебаний. Малые колебания. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс. Колебания в системах связанных тел. Собственные частоты. Волны. Продольные и поперечные волны. Частота, длина волны, закон дисперсии, скорость, поляризация. Плоские и сферические волны. Волновые пакеты. Фазовая и групповая скорости. Элементы акустики.

5. Вариационные принципы в механике. Принцип наименьшего действия. Функция Лагранжа. Уравнения движения в форме Лагранжа. Функция Гамильтона. Уравнения движения в форме Гамильтона.

1.2. Молекулярная физика. Термодинамика и статистическая физика

1. Основные понятия и постулаты термодинамики.

Макроскопическая система. Основы молекулярно-кинетической теории строения вещества. Термодинамический и статистический методы описания. Внешние и внутренние параметры. Термодинамическое состояние и его функции. Состояние термодинамического равновесия. Постулаты термодинамики. Установление термодинамического равновесия в изолированной системе. Равновесные и неравновесные процессы.

2. Начала термодинамики. Внутренняя энергия, теплота и работа. Первое начало термодинамики. Теплоемкости и скрытые теплоты. Изопроецессы и газовые законы на примере идеального газа и газа Ван дер Ваальса. Циклические процессы, тепловая и холодильная машины. Второе начало термодинамики. Энтропия. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса. Третье начало термодинамики (тепловая теорема Нернста). Поведение термодинамических величин при температуре, стремящейся к абсолютному нулю.

3. Термодинамические потенциалы, условия равновесия и фазовые переходы. Внутренняя энергия, свободная энергия, потенциал Гиббса, энтальпия. Термодинамические потенциалы для систем с переменной массой. Химический потенциал. Основное соотношение равновесной термодинамики. Условия термодинамического равновесия. Гомогенная и гетерогенная системы. Общие условия термодинамического равновесия. Необходимые условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Условия устойчивости равновесия однофазной системы. Принцип Ле Шателье. Фазовые переходы первого рода. Поведение термодинамических величин при фазовых переходах первого рода. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Плавление. Сублимация. Испарение и кипение, давление насыщенного пара. Краевой угол. Смачивание. Капиллярные явления. Метастабильные состояния. Тройная точка. Критическая точка. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода. Поведение физических величин при фазовых переходах второго рода.

4. Основные положения статистической физики. Фазовое пространство. Ансамбль Гиббса (статистический ансамбль). Функция распределения. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Связь статистической суммы со свободной энергией. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Теплоемкость классического идеального газа. Неидеальные газы. Газ Ван дер Ваальса. Большое каноническое распределение Гиббса. Квантовая статистика. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Общие свойства ферми-газов.

5. Флуктуации. Распределение вероятностей флуктуаций (распределение Гаусса). Флуктуации в идеальном газе.

6. Физическая кинетика. Частичные функции распределения. Кинетическое уравнение Больцмана. Диффузия. Законы Фика. Вязкость. Закон Ньютона. Механизмы внутреннего трения (вязкости) в газах, жидкостях, твердых телах. Сверхтекучесть. Теплопроводность. Закон Фурье. Механизмы теплопроводности в газах, жидкостях, твердых телах. Электропроводность. Формула Друде-Лоренца для электропроводности.

1.3. Электричество и магнетизм

1. Основные законы физики электромагнитных явлений. Электрический заряд и его свойства. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса. Обобщение закона Кулона в виде дифференциального уравнения. Потенциальность электрического поля неподвижных зарядов. Потенциал поля точечного заряда. Потенциал системы зарядов. Электрический ток. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа. Ток смещения. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.

2. Электрические цепи. Сопротивление. Закон Ома. Емкость. Конденсатор. Конденсатор в цепи переменного тока. Сопротивление конденсатора переменному току (емкостное сопротивление). Само- и взаимоиנדукция. Индуктивность в цепи переменного тока. Индуктивное сопротивление. Электрические цепи. Правила Кирхгофа для постоянных и переменных токов. Сопротивление цепи переменному току. Мощность переменного тока. Переменный ток и его применение. Колебательный контур.

3. Электромагнитные волны. Волновое уравнение для электромагнитного поля. Плоские монохроматические электромагнитные волны и их основные свойства (частота и волновое число, связь частоты с волновым числом (закон дисперсии), скорость распространения, ориентация полей). Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля. Излучение ЭМВ диполем Герца. Сферические волны.

4. Взаимодействие зарядов и токов с электромагнитным полем. Сила Лоренца. Движение заряда в электрическом поле. Движение заряда в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (сила Ампера). Магнитный момент замкнутого тока. Взаимодействие магнитного момента с полем. Преобразование энергии в поле переменных токов. Электродвигатели и генераторы переменного тока

5. Материальные среды в электромагнитном поле. Макроскопические электромагнитные поля в средах. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Диэлектрики. Связанные заряды. Поляризация диэлектриков в электрическом поле. Вектор поляризации. Электрическая восприимчивость

(поляризуемость). Полярные и неполярные диэлектрики. Особенности их поведения в постоянных и переменных полях. Магнитные свойства вещества. Вектор намагниченности. Молекулярные токи. Диа-, пара- и ферромагнетики. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм Ландау. Спиновый магнитный момент. Природа пара- и ферромагнетизма. Применение пара- и ферромагнетизма. Сверхпроводимость. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников. Высокотемпературная сверхпроводимость.

1.4. Оптика

1. Геометрическая оптика и фотометрия. Законы геометрической оптики. Центрированная оптическая система и ее кардинальные элементы. Построение изображений в собирающих и рассеивающих тонких линзах. Поперечное увеличение оптических приборов. Оптические приборы: глаз, лупа, микроскоп, телескоп. Геометрическая оптика как предел волновой. Основные фотометрические величины: поток света, сила света, яркость, светимость, освещенность, интенсивность света. Спектральная чувствительность глаза.

2. Волновая оптика. Электромагнитная природа света. Поперечность электромагнитных волн. Поляризация, виды поляризации световой волны. Поляризаторы. Закон Малюса. Интерференция света, Двухлучевая и многолучевая интерференция. Когерентность. Оптическая разность хода. Методы получения и расчета интерференционной картины. Классические интерференционные опыты. Интерферометры. Дифракция. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля. Дифракция Френеля на круглых отверстиях и препятствиях. Зоны Френеля. Дифракция Фраунгофера. Дифракционные решетки. Расчет дифракционной картины света на решетке. Дифракция рентгеновских лучей. Спектральные приборы, основные характеристики спектральных приборов. Голография: запись и восстановление изображения.

3. Излучение света. Классическая физическая модель излучения света. Естественная ширина спектральной линии. Формы спектральной линии. Уширение спектральных линий. Законы Кирхгофа для теплового излучения. Спектральная плотность излучения. Понятие абсолютно черного тела и законы его излучения. Квантовая физическая модель излучения света. Формула Планка для излучения абсолютно черного тела. Спонтанное и вынужденное излучение света атомами.

4. Квантовая оптика. Фотоны. Фотоэффект, законы фотоэффекта. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Эффект Комптона и его объяснение. Источники когерентного излучения - лазеры. Активная среда. Понятие об отрицательной температуре. Лазер и его принципиальное устройство. Применение лазеров.

5. Распространение света в различных средах. Отражение света от границы раздела двух изотропных сред: теория Френеля, угол Брюстера.

Полное внутреннее отражение. Свето-воды. Дисперсия света. Электронная теория дисперсии света. Фазовая и групповая скорости света. Закон Бугера. Рассеяние света, рэлеевское рассеяние света. Распространение света в анизотропных средах. Оптические оси. Двойное лучепреломление и его применение. Оптически активные среды, эффект Фарадея в магнитных средах. Нелинейные среды. Эффекты в распространении света в нелинейных средах.

1.5. Атомная физика и квантовая механика

1. Краткая история возникновения и развития квантовых представлений. Излучение абсолютно черного тела. Квантовая гипотеза Планка. Кванты света. Фотоэффект. Постоянная Планка. опыты Резерфорда. Классические представления о строении атома, их несостоятельность. Атом водорода по Бору. Пространственное квантование и опыты Штерна-Герлаха. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де-Бройля. Эффект Комптона. опыты Дэвиссона и Джермера. Невозможность классического описания движения микрочастиц. Принцип неопределенности Гейзенберга, его эвристическая ценность.

2. Основные постулаты и принципы квантовой механики. Наблюдаемые величины и состояния. Волновая функция, ее статистическая интерпретация. Принцип суперпозиции. Матричная механика Гейзенберга. Операторы в квантовой механике. Понятие измерения. Среднее значение физической величины.

3. Эволюция состояний квантовых систем. Уравнение Шредингера, его стационарные решения. Свойства стационарных состояний. Плотность вероятности, плотность потока вероятности. Симметрия и законы сохранения в квантовой механике.

4. Простейшие и точно решаемые задачи квантовой механики. Одномерное движение. Туннелирование. Гармонический осциллятор. Движение частицы в центральном поле. Пространственный ротатор. Нерелятивистская теория атома водорода.

5. Теория возмущений. Стационарная теория возмущений. Невырожденный уровень. Вырожденный уровень. Квантовые переходы, вероятность перехода. «Золотое» правило Ферми. Закон сохранения энергии и соотношение неопределенностей энергия-время.

6. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем. Правила отбора для электродипольного излучения и поглощения. Рентгено-электронная спектроскопия. Резонансные методы исследования веществ (ЭПР, ЯМР и др.).

7. Системы тождественных частиц. Спин. Спиновые волновые функции. Уравнение Паули. Тождественные частицы в квантовой механике. Принцип Паули. Перестановочная симметрия волновых функций. Бозоны и фермионы. Атом гелия. Строение многоэлектронных атомов. Электронные конфигурации. Периодическая система химических элементов. Термы.

Правило Хунда. Проявление спин-орбитального взаимодействия. Мультиплетное расщепление термов. Молекула водорода, возникновение химической связи. Перекрывание атомных орбиталей, ковалентность. Связывающие и антисвязывающие молекулярные орбитали. Обменное взаимодействие. Энергетический спектр и волновые функции электрона в идеальном кристалле. Энергетические зоны. Металлы, диэлектрики, полупроводники.

Раздел 2. РАДИОФИЗИКА

2.1. Теория колебаний

Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные колебательные системы. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

2.2. Теория волн

Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация. Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны. Магнитоактивные среды. Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Приближение геометрической оптики. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах. Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды.

Линзовые линии и открытые резонаторы. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы. Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргерса для диссипативной среды и свойства его решений. Уравнение Кортевега-де-Вриза и синус – Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах.

2.3. Статистическая радиофизика

Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум. Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума). Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.

2.4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами

Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер). Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени). Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. ТЕ-, ТН- и ТЕМ-волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны. Генерация волн в СВЧ-диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и

генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства). Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет–сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

2.5. Антенны и распространение радиоволн

Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ-, СВ- и СВЧ-диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект «замирания». Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция.

2.6. Выделение сигналов на фоне помех

Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции. Линейная фильтрация Колмогорова-Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Статистическая радиофизика и оптика: учебное пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 423 с.
2. Ботов М.И., Вяхирев В.А., Девотчак В.В. Введение в теорию радиолокационных систем. Красноярск: СФУ, 2012. 394 с.
3. Горбунов Ю.Н., Лобанов Б.С. Куликов Г.В. Введение в стохастическую радиолокацию: учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2017. 376 с.
4. Каганов В.И. Колебания и волны в природе и технике. Компьютеризированный курс: учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2015. 333 с.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах. Т. 1: Механика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. 560 с.

6. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах. Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2021. 544 с.
7. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах. Т. 3: Электричество. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. 565 с.
8. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах. Т. 4: Оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 792 с.
9. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах. Т. 5: Атомная и ядерная физика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. 784 с.
10. Тихонов В.И., Шахтарин Б.И., Сизых В.В. Случайные процессы. Примеры и задачи. Т. 4. Оптимальное обнаружение сигналов: учебное пособие для вузов / Под ред. В.В. Сизых. М.: Горячая линия-Телеком, 2017. 400 с.
11. Шахтарин Б.И. Обнаружение сигналов: учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2015. 464 с.

Программа рассмотрена, обсуждена и одобрена на семинаре Отдела физики океана и атмосферы ТОИ ДВО РАН «04» октября 2022 г.

Председатель семинара
д.ф.-м.н.



Д.В. Макаров