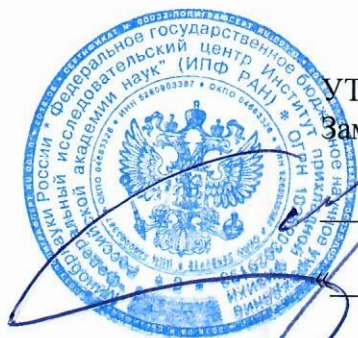


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)



УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

М.Ю. Глявин

11 » апреля 2022 г.

Программа вступительного экзамена по специальной дисциплине

Уровень образования:

высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Группа научных специальностей:

1.6. Науки о Земле и окружающей среде

Научные специальности:

1.6.17. Океанология

1.6.18. Науки об атмосфере и климате

Оглавление

Раздел 1. «Механика сплошных сред».....	2
Раздел 2. «Теория колебаний и волн».....	5
Раздел 3. «Электродинамика».....	7

Раздел 1. «Механика сплошных сред»

1. Общие закономерности движения сплошной среды.

Определение сплошной среды. Механика сплошной среды как феноменологическая теория сплошной среды. Кинематика сплошной среды. Эйлерово и лагранжево описание. Основные законы механики и термодинамики сплошной среды. Законы сохранения массы, импульса и момента импульса. 1-е и 2-е начала термодинамики для сплошной среды. Законы движения и теплообмена сплошной среды в дифференциальной и интегральной форме.

2. Газовая динамика (динамика идеального газа).

Определение идеальной жидкости и идеального газа. Идеальная жидкость или газ как двухпараметрические среды. Скорость звука. Основное термодинамическое соотношение для сплошной среды. Гидростатика. Закон Архимеда. Условия устойчивости плотностной стратификации в поле тяжести. Стационарное течение идеальной жидкости и идеального газа без источников тепла. Интеграл Бернулли. Одномерное стационарное течение жидкости или газа. Сверхзвуковые потоки. Элементарная теория сопла Лавалья. Потоки массы, импульса, энергии. Стационарное одномерное движение идеального газа с теплообменом. Тепловое сопло Лавалья. Поверхности разрыва. Граничные условия на поверхностях разрыва. Ударные волны. Теория ударной адиабаты. Простые волны в идеальном газе. Образование разрыва. Инварианты Римана и характеристики. Распространение одномерных возмущений в трубе, заполненной газом.

3. Гидродинамика идеальной несжимаемой жидкости.

Уравнение состояния несжимаемой жидкости. Условия применимости приближения несжимаемости. Уравнение Эйлера. Потенциальное течение идеальной несжимаемой жидкости. Потенциальное обтекание твердых тел. Парадокс Даламбера. Присоединенная масса. Подъемная сила. Плоское безвихревое течение несжимаемой жидкости. Комплексный потенциал. Применение метода конформных преобразований для расчета плоских потенциальных течений. Потенциальные волны на поверхности тяжелой жидкости. Гравитационные и капиллярные волны. Приближение мелкой воды. Простые волны на мелкой воде. Вихревое движение идеальной несжимаемой жидкости. Теорема о циркуляции. Свойство вмерзности вихревых линий. Внутренние гравитационные волны. Особенности анизотропной дисперсии.

4. Динамика вязкой несжимаемой жидкости.

Тензор напряжений в вязкой жидкости. Коэффициенты вязкости. Уравнение Навье-Стокса. Принцип подобия и число Рейнольдса. Движение вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса. Обтекание сферы потоком вязкой жидкости при малом числе Рейнольдса. Формула Стокса. Движение вязкой жидкости при большом числе Рейнольдса. Гипотеза Прандтля о

пограничном слое. Пограничный слой на плоской пластинке. Явление отрыва пограничного слоя Ламинарный след.

5. Гидродинамическая неустойчивость и переход к турбулентности.

Неустойчивость тангенциального разрыва. Неустойчивость плавного плоскопараллельного потока идеальной жидкости. Теорема Рэлея. Турбулентное течение. Мелкомасштабная структура турбулентности. Гипотезы Колмогорова о статистических свойствах мелкомасштабной турбулентности при больших числах Рейнольдса. Инерционный интервал. Закон $2/3$. Полуэмпирические теории турбулентности. Турбулентные напряжения и их градиентные аппроксимации. Турбулентный пограничный слой.

6. Динамика упругого деформируемого твердого тела.

Кинематика твердого тела. Тензор напряжений, его геометрический смысл. Уравнения движения и теплообмена упругого твердого тела. Основное термодинамическое соотношение для твердого тела. Свободная энергия. Закон Гука. Коэффициенты Лямэ. Статические деформации упругого твердого тела. Однородные деформации. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Общее уравнение равновесия упругого твердого тела. Термоупругие деформации. Свободная энергия, обобщенный закон Гука. Общее уравнение равновесия неоднородно нагретого твердого тела. Изотермические и адиабатические деформации. Упругие волны в твердом теле. Продольные и поперечные волны. Отражение и преломление упругих волн. Поверхностная волна Рэлея.

Литература:

1. *Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц*, «Гидродинамика» (6 том курса "Теоретическая физика"), Наука, Глав.ред.физ.-мат.лит., М., 1986, 736 стр.
2. *Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц*, «Теория упругости» (7 том курса "Теоретическая физика"), Наука, Глав.ред.физ.-мат.лит., М., 1987, 247 стр.
3. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. – М.: Физ.-мат.лит., 1973.
4. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды Т1, Т.2, М.: Наука, 1994.
5. *Бреховских Л.М., Гончаров В.В.* Введение в механику сплошных сред. М., "Наука", 1982.
6. *Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика Т.1, Т.2, М.: Физматгиз, 1963.
7. *Бетчелор Дж.* Введение в динамику жидкости. Пер. с англ. – М., Мир, 1973. 758 с.
8. *Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений.
9. *Монин А. С., Яглом А. М.*, Статистическая гидромеханика, ч. 1, М., 1965; ч. 2, М., 1967.
10. *Ле Блон П., Майсек Л. М.* Волны в океане. М.: Мир 1981. 682с.
11. *Тимошенко С.П.* Курс теории упругости. Киев, "Наукова думка", 1972, 502 с.

Вопросы для контроля

- 1) Закон сохранения массы в дифференциальной и интегральной форме. Поток массы.
- 2) Закон сохранения импульса в дифференциальной и интегральной форме. Поток импульса. Тензор поверхностных напряжений.
- 3) Закон сохранения энергии в дифференциальной и интегральной форме. Поток энергии.
- 4) Теорема Бернулли.

- 5) Скорость звука
- 6) Законы сохранения массы, импульса и энергии для стационарного одномерного потока идеального газа
- 7) Граничные условия на разрыве.
- 8) Ударная волна и простая волна (определения).
- 9) Условие несжимаемости жидкости.
- 10) Парадокс Даламбера
- 11) Потенциал и функция тока.
- 12) Дисперсионные уравнения для гравитационных волн на глубокой и мелкой воде
- 13) Теорема о циркуляции
- 14) Тензор напряжений в вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса
- 15) Число Рейнольдса и его физический смысл.
- 16) Формула Стокса
- 17) Закон расширения ламинарного пограничного слоя на плоской пластинке.
- 18) Теорема Рэлея об устойчивости плоскопараллельного потока идеальной жидкости.
- 19) Гипотезы Колмогорова о статистических свойствах мелкомасштабной турбулентности при больших числах Рейнольдса. Инерционный интервал. Закон 2/3.
- 20) Турбулентные напряжения и их градиентные аппроксимации.
- 21) Тензор деформаций
- 22) Закон Гука для изотропной упругой среды.
- 23) Общее уравнение движения упругого твердого тела и граничные условия
- 24) Уравнения для продольных и поперечных волн в изотропной упругой твердой среде.

Раздел 2. «Теория колебаний и волн»

1. Линейный осциллятор

Фазовый портрет. Резонанс. Резонансное поглощение. Действие непериодической силы. Связанные осцилляторы. Нормальные и парциальные частоты.

2. Нелинейный осциллятор

Фазовая плоскость. Типы состояний равновесия. Предельный цикл. Грубые динамические системы. Индекс Пуанкаре. Метод Ван-дер-Поля.

3. Параметрический резонанс в линейных системах

Теорема Флоке. Точечные отображения. Зоны неустойчивости. Метод ВдП.

4. Адиабатические инварианты

Линейный осциллятор с медленно изменяющимися параметрами. Метод ВдП. Переменные действие-угол. Геометрический смысл а.и.. Точность сохранения а.и.

5. Системы с быстро изменяющимися параметрами

Усредненная подинерсионная сила. Связь с теорией адиабатических инвариантов. Точность усредненного описания.

6. Резонанс в нелинейных системах

Спектр установившихся колебаний Устойчивость состояния равновесия. Явление гистерезиса при медленном изменении амплитуды силы.

7. Периодические автоколебания

Генератор Ван-дер-Поля. Эффект захвата частоты. Релаксационные автоколебания. Быстрые и медленные движения.

8. Метод Ван-дер-Поля

Общая схема метода. Условия применимости. Обоснование сходимости. Оценка точности.

9. Стохастичность в динамических системах

Экспериментальные признаки стохастичности. Сигнал, спектр, корреляционная функция. Точечные отображения для систем с одной степенью свободы. Отображение Фейгенбаума. Удвоение периода. Инвариантная мера. Эргодичность. «Динамическая» диффузия. Системы с 32 степенями свободы. Элементы «КАМ»-теории. Глобальная стохастичность. Критерий перекрытия резонансов. Критерий многопоточности. ЭФП - приближение на примере стандартного отображения.

10. Линейные системы

Цепочки связанных осцилляторов; функции Блоха; дисперсионные соотношения, длинноволновое приближение; фазовая и групповая скорость; расплывание волновых пакетов. Абсолютная и конвективная неустойчивости (неустойчивость гравитирующего газа, модуляционная неустойчивость, пучковая неустойчивость).

11. Трехволновые взаимодействия

Условия синхронизма. Распадные и нераспадные спектры. Укороченные уравнения. Соотношения Менли-Роу. Распадная и взрывная неустойчивости.

12. Множественные синхронизмы

Ударные волны. Волны Римана. Определение координат и времени образования разрывов.

13. Структура фронта ударной волны

Уравнение Бюргерса. Уравнение Кортевега-де Вриза (КДВ). Конкуренция вязкости, дисперсии, нелинейности. Структура фронта «бесстолкновительной» ударной волны.

14. Стационарные волны (кинки и солитоны)

Солитон нелинейного уравнения Шредингера (НУШ). Устойчивость КДВ и НУШ солитонов. Второй метод Ляпунова. Неравенство Соболева.

15. Взаимодействие солитонов

Метод Узизема.

15. Интегрируемость в нелинейных системах

Интегрируемость гамильтоновых сосредоточенных систем. Метод Лэкса. Оценка полного числа КДВ солитонов по начальным условиям. Отыскание N-солитонных решений КДВ уравнения методом преобразования Дарбу.

16. Самофокусировка волн

Качественная модель процесса. Поперечная неустойчивость пучков большой мощности (филаментация). Однородные каналы. Критическая мощность самофокусировки. Метод

моментов. Оценка длины самофокусировки. Оценка критической мощности. Метод Уизема. Безаберрационное описание процесса самофокусировки.

Литература:

1. А. А. Андронов... «Теория колебаний».
2. М. И. Рабинович, Д. И Трубецков. «Введение в теорию колебаний и волн».
3. Р. З. Сагдеев, Г. М. Заславский. «Физика колебаний».
4. Г. Шустер. «Детерминированный хаос».
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. «Механика»
6. В.И.Арнольд «Математические методы классической механики»
7. Либерман, Лихтенберг «Регулярная и стохастическая динамика»
8. V.V.Matveev, M.A.Salle “Darboux Transformation and Solitons”, Springer-Verlag, 1191.
9. «Сборник задач по теории колебаний» под редакцией Л.В.Постникова и В.И.Королева, М., Наука, 1978.

Вопросы для контроля

- 1) Бифуркационная диаграмма линейного осциллятора
- 2) основные типы состояний равновесия на фазовой плоскости
- 3) Резонансные потери
- 4) Зависимость периода и спектра колебаний нелинейного осциллятора от амплитуды.
- 5) Оценка порогов возникновения параметрической неустойчивости в зависимости от номера зоны.
- 6) Точность сохранения адиабатического инварианта линейного осциллятора с медленно изменяющейся частотой.
- 7) Оценить глубину проникновения поперечной электромагнитной волны в плавнонеоднородную среду с кубичной нелинейностью.
- 8) Найти зоны возможной генерации колебаний монодрона в зависимости от энергии электронов на входе.
- 9) Почему при движении в высокочастотных порлях возможно удержание электронов усредненной пондеромоторной силой, а в статических электрических полях это невозможно.
- 10) Почему для системы связанных осцилляторов спектр нормальных частот всегда шире спектра парциальных частот.
- 11) Эффект Вина. Демпфирование колебаний
- 12) Эффект синхронизации двух связанных автогенераторов
- 13) Эффект гистерезиса вынужденных колебаний нелинейного осциллятора при медленном изменении частоты внешней силы.
- 14) Принцип «суперпозиции» эффектов в рамках метода Ван-дер-Поля
- 15) Динамическая модель броуновского движения.
- 16) Критерии глобальной стохастичности
- 17) Стохастическое ускорение заряженных частиц

- 18) Метод моментов в задаче о расплывании волновых пакетов.
- 19) Качественное объяснение специфики абсолютной и конвенктивной неустойчивости
- 20) Применение цепочек связанных осцилляторов при моделировании распределенных систем различной физической природы.
- 21) Трехволновые взаимодействия в системах с квадратичной нелинейностью
- 22) Общие свойства систем уравнений гиперболического типа.
- 23) Соотношения Менли-Роу. Распадная и взрывная неустойчивости.
- 24) Ударные волны в ферритах
- 25) Структура фронта \ ларной волны
- 26) Конкуренция дисперсии и нелинейности и солитоны
- 27) Устойчивость КДВ и НУШ солитонов.
- 28) Стационарная волна МКДВ уравнения
- 29) Метод Лэкса для КДВ- уравнения
- 30) Оценка числа солитонов по начальным условиям
- 31) Метод Уизема для теории возмущений
- 32) Метод преобразования Дарбу
- 33) Качественная модель процесса самофокусировки
- 34) Критическая мощность и филаментационная неустойчивость

Раздел 3. «Электродинамика»

1. Исторические справки.

Концепция электромагнитного поля, как результат «победы» теории близкодействия над теорией дальнего действия. Основные экспериментальные факты, которые легли в основу уравнений Максвелла. Ток смещения. Элементы векторного анализа, необходимые для прогресса в изучении электродинамики: дифференциальные операции первого и второго порядков, оператор "набла", основные тождества, интегральные теоремы, криволинейные системы координат.

2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей.

Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для полей, зарядов и токов в вакууме. Постулаты, связывающие э.-м. явления с механическими. Уравнения для средних макроскопических полей в среде. Материальные уравнения для различных сред. Ток и поляризация как результат воздействия полей на среду и как источник этих полей. Сторонние источники. Уравнение непрерывности для электрического заряда. Граничные условия для полей. Понятие поверхностных токов и зарядов. Граничные условия для плотности электрического тока. Принцип суперпозиции решений. Магнитные источники и принцип двойственности. Скаляры, векторы и псевдовекторы в уравнениях Максвелла. Обратимость уравнений во времени. Теорема Пойнтинга. Вектор Пойнтинга и понятие потока электромагнитной энергии. Плотность э.-м. энергии в среде и джоулевы потери. Максвелловский тензор натяжений. Импульс электромагнитного поля. Теорема единственности решения уравнений Максвелла.

3. Электростатика.

Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа. Уравнение для потенциала в неоднородном диэлектрике. Граничные условия для потенциала на поверхностях диэлектриков и проводников. Источники электростатического поля. Особенности поля и потенциала вблизи точечных, линейных и поверхностных источников (заряд, диполь, двойной слой и т. д.). Обратная задача электростатики - отыскание распределения зарядов по заданному полю или потенциалу. Прямая задача электростатики. Функция Грина для безграничной однородной среды. Общее решение уравнения Пуассона. Упрощение решения отдельных задач на основании соображений симметрии. Постановка задач об отыскании функций Грина для задач Дирихле и Неймана. Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от нее. Электрические мультиполи. Понятие дипольного и квадрупольного моментов. Теорема единственности решения прямой задачи электростатики. Теорема об отсутствии максимумов и минимумов потенциала в области, свободной от источников. Теорема взаимности. Линейные соотношения между потенциалами и зарядами проводников. Понятие емкости. Конструктивные методы (металлизация эквипотенциальных поверхностей, метод изображений для проводящей плоскости, проводящей сферы и диэлектрического полупространства, заполнение диэлектриком силовых трубок и областей между замкнутыми эквипотенциальными поверхностями). Метод разделения переменных. Частные решения уравнения Лапласа в декартовой и сферической системах координат. Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем поле. Энергия электростатического поля. Представление в виде интеграла по области источников. Собственная и взаимная энергия различных подсистем. Энергия взаимодействия внешнего поля с точечным диполем. Энергия системы проводников (представление в виде квадратичных форм потенциалов или зарядов, связь с понятием емкости). Силы в электростатическом поле. Энергетический метод расчета обобщенных сил. Силы, действующие на заряд и диполь во внешнем поле. Связь между вариацией энергии и работой электрических сил в системе проводников с постоянными зарядами или постоянными потенциалами. Сведение объемных сил к поверхностным натяжениям.

4. Постоянные токи в проводящих средах.

Уравнения теории постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Понятие и идеального изолятора, идеального проводника и идеального электрода. Формальная аналогия с электростатикой, примеры ее использования для решения задач. Понятие сопротивления. Закон Джоуля-Ленца. Токи в квазилинейных проводниках. Законы Кирхгофа.

5. Магнитостатика.

Уравнения, описывающие магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнение для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Саварра-Лапласа. Поле произвольной системы замкнутых токов на большом расстоянии от нее. Магнитный дипольный момент. Поле магнитного диполя. Скалярный потенциал магнитного поля. Магнитный листок как эквивалент линейного контура с током. Аналогия между электростатическими и магнитостатическими полями как проявление принципа двойственности и основанные на ней примеры решения задач магнитостатики (шар в однородном поле, магнитное экранирование, отражение в полупространстве, заполнение магнетиком). Поля, создаваемые намагниченными телами. Замена намагниченности эквивалентными

электрическими токами или фиктивными магнитными зарядами. Магнитное поле однородно намагниченного шара. Энергия и силы в магнитном поле. Представление энергии в виде интеграла по области источников. Энергия системы квазилинейных токов. Коэффициенты взаимной индукции и самоиндукции. Сила, действующая на элементы квазилинейного контура с током. Силы и вращающий момент, действующие на магнитный диполь. Плотность объемной силы и тензор натяжений в магнитном поле. Понятие о магнитопроводах.

6. Общие способы описания переменных электромагнитных полей.

Постановка задачи и различные приближения. Описание переменного э/-м. поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для э.-м. полей. Описание с помощью потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца. Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы. Гармонические процессы. Комплексная запись уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами. Возможность оперирования с произведениями комплексных векторов. Комплексная теорема Пойнтинга. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей

7. Электродинамика квазистационарных процессов.

Квазистационарные процессы в проводящих средах. Задача о релаксации неоднородного магнитного поля в проводящей среде. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект.

Энергетические соотношения при скин-эффекте. Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики.

8. Электромагнитные волны в однородных средах.

Однородные плоские волны в непоглощающей однородной среде. Ориентация векторов электрического и магнитного поля. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость. Поток энергии, переносимый плоской волной. Волны с комплексным волновым вектором в поглощающей среде. Простейшие случаи распространения плоских волн в однородных анизотропных средах. Понятие о нормальных волнах. Эффект Фарадея. Эффект Коттона-Муттона. Неоднородные плоские волны в непоглощающей среде (волны с комплексным волновым вектором). Построение неоднородных волн как суперпозиции плоских однородных волн.

Конструирование поля в волноводе и колебания в резонаторе из неоднородных плоских волн. Пример волна типа TE в прямоугольном волноводе. Двумерный электромагнитный волновой пучок. Представление в виде суперпозиции однородных плоских волн. Малоугловое (параксиальное) приближение (квазиоптический пучок). Уравнение поперечной диффузии и его решение. Зона геометрической оптики. Зона Френеля и диффузионная зона. Зона Фраунгофера. Среда с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Квазимонохроматические процессы. Энергия монохроматического поля в среде с временной дисперсией. Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость и скорость переноса энергии. Диффузионное уравнение для огибающей импульса.

9. Электромагнитные волны в неоднородных средах.

Отражение и преломление волн на плоской границе двух сред (формулы Френеля). Нормальное падение. Выражение коэффициента отражения через волновые импедансы.

Формула пересчета импеданса. Многослойное покрытие. Уравнение Риккати для импеданса в плоскостой среде. Наклонное падение. Полное внутреннее отражение и угол Брюстера. Возникновение неоднородных волн при полном отражении. Отражение от хорошо проводящей поверхности и условие Леонтовича.

Волны в среде с плавно меняющимися параметрами. Приближение геометрической оптики. (ВКБ приближение). Лучевое описание поля в плавно неоднородных средах. Уравнение эйконала и уравнение переноса. Лучевые трубки. Изменение интенсивности в лучевой трубке. Нарушение приближения геометрической оптики вблизи каустики. Функция Эйри. Падение плоской волны на плоскостой среду.

10. Электромагнитные волны в цилиндрических линиях передачи.

Волны TE, TM и TEM типов (общие выражения для полей через продольные компоненты вектора Герца). Поперечное волновое уравнение, поток энергии. Линии передачи с идеально проводящими границами. Граничные условия для поперечных волновых функций. Действительность поперечных волновых чисел. Условия существования главных (TEM) волн. Распространяющиеся и нераспространяющиеся волны, критические частоты, длина волны, фазовая и групповая скорости, вырождение волн. Волны в прямоугольном и круглом волноводах. Спектр поперечных волновых чисел, структура поля волн различных типов. Представление в виде суперпозиции однородных плоских волн (концепция Бриллюэна).

Описание главных волн в терминах напряжения и тока; телеграфные уравнения; Выражение фазовой скорости и волнового сопротивления через погонные параметры линии; главная волна в коаксиальной линии; отражение волны от скачка параметров линии и от нагрузки.

Затухание волн, вызванное потерями в среде, заполняющей волновод, и в стенках волновода.

Лемма Лоренца и теорема взаимности. Соотношения ортогональности и формулы для возбуждения волн в цилиндрических линиях передачи.

11. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.

" Конструирование" собственных колебаний из волн в цилиндрических линиях передачи. Собственные частоты прямоугольного и цилиндрического резонатора.

Общая постановка задачи о собственных колебаниях в резонаторах. Равенство запасенной электрической и магнитной энергии. Спектр собственных частот в отсутствие поглощения энергии и при наличии поглощения, обусловленного потерями в заполняющей среде и в стенках резонатора. Возбуждение полых резонаторов. Вихревые и потенциальные поля, формулы возбуждения, резонансные свойства.

12. Излучение заданных источников в однородной безграничной среде.

Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения, запаздывающие и опережающие решения, условия излучения, выражение для потенциала через интеграл по области источников.

Простейшая излучающая система - элементарный электрический диполь. Поля в квазистационарной и волновой зонах, диаграмма направленности, сопротивление излучения, излучение магнитного диполя.

Общее представление полей излучения произвольной системы токов в дальней зоне.

Вектор излучения как пространственная Фурье-компонента плотности тока. Диаграмма направленности, параметры передающих и приемных антенн.

Излучение токов (электрических и магнитных), текущих по плоскости.

13. Элементы теории дифракции электромагнитных волн.

Точные и приближенные решения. Простейшее решение - геометрическая оптика. Принцип Гюйгенса для скалярных и векторных полей. Принцип Гюйгенса- Френеля.

Кирхгофовское приближение в задачах дифракции на отверстиях в экранах, метод физической оптики, понятие о геометрической теории дифракции.

Поперечное сечение рассеяния объекта (дифференциальное, полное, радиолокационное).

14. Квазиоптические линии передач и резонаторы.

Построение собственных волн в открытой линзовой линии. Описание полей в зеркальной линии.

Литература:

1. *И.Е.Тамм.* «Основы теории электричества», М., Наука, 1966.
2. *Дж. Джексон.* «Классическая электродинамика» М., Мир, 1965
3. *Л.А. Вайнштейн.* "Электромагнитные волны", М., Сов.Радио, 1957; Радио и Связь, 1988.
4. *Б.З. Каценеленбаум.* "Высокочастотная электродинамика", М., Наука, 1966.
5. *Л.М. Бреховских.* "Волны в слоистых средах", М., Наука, 1973.
6. *В.Л. Гинзбург.* "Распространение электромагнитных волн в плазме", М., Наука, 1967.
7. *В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер.* «Сборник задач по электродинамике», М., Физматлит, 2001.
8. *Г.Т. Марков, Б.М. Петров, Г.П. Грудинская.* «Электродинамика и распространение радиоволн», М., Сов.Радио, 1979.
9. *М. Борн, Э. Вольф.* «Основы оптики», М., Наука, 1970.
10. *Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.* «Теория поля», М., Физматлит, 2003.
11. *Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.* «Электродинамика сплошных сред», М., Физматлит, 2001.
12. *Дж.А. Стрэттон.* «Теория электромагнетизма», ГИТТЛ, М.-Л., 1948.
13. *В. Пановский, М. Филипс.* «Классическая электродинамика», М., ГИФМЛ, 1963.
14. *В. Смайт.* «Электростатика и электродинамика», 1954
15. *Дж.К. Максвелл.* «Трактат об электричестве и магнетизме», М., Наука, 1989.
16. *В.В. Батыгин, И.Н.Топтыгин.* «Современная электродинамика. Микроскопическая теория. Том 1, ИКИ, 2005.
17. *И.Н. Топтыгин.* «Современная электродинамика. Теория электромагнитных явлений в веществе». Том 2 , ИКИ, 2005.
18. *В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин.* «Сборник задач по электродинамике», М., Наука, 1970.

Вопросы для контроля

- 1) Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме.
- 2) Граничные условия в макроскопической электродинамике. Поверхностные заряды и токи.
- 3) Уравнение непрерывности для электрического заряда.

- 4) Электрическая и магнитная поляризация среды.
- 5) Материальные уравнения для различных сред.
- 6) Принцип суперпозиции.
- 7) Теорема единственности решения уравнений Максвелла
- 8) Теорема Пойнтинга. Энергия электромагнитного поля. Поток энергии, вектор Пойнтинга.
- 9) Импульс электромагнитного поля, максвелловский тензор натяжений.
- 10) Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа.
- 11) Особенности электростатического поля и потенциала вблизи точечных, линейных и поверхностных источников.
- 12) Разложение потенциала по электрическим мультиполям.
- 13) Функции Грина для задач Дирихле и Неймана.
- 14) Теорема взаимности в электростатике.
- 15) Собственная и взаимная энергия электростатических подсистем.
- 16) Энергия системы проводников
- 17) Понятие емкости в системе проводников.
- 18) Разделения переменных для уравнения Лапласа в декартовой и сферической системах координат.
- 19) Уравнения для постоянных токов в проводящей среде.
- 20) Уравнения, описывающие статические магнитные поля.
- 21) Векторный потенциал магнитостатического поля.
- 22) Поле произвольной системы замкнутых токов на больших расстояниях от нее. Магнитный дипольный момент.
- 23) Поля, создаваемые намагниченными телами. Скалярный потенциал магнитного поля.
- 24) Представление энергии в виде интеграла по области источников.
- 25) Теорема взаимности в магнитостатике.
- 26) Энергия системы квазилинейных токов.
- 27) Коэффициенты взаимной индукции и самоиндукции.
- 28) Магнитопроводы.
- 29) Скалярный и векторный потенциалы переменного электромагнитного поля. Калибровка Кулона. Калибровка Лоренца.
- 30) Уравнения для потенциалов электромагнитного поля.
- 31) Комплексная запись уравнений Максвелла.
- 32) Комплексная диэлектрическая проницаемость.
- 33) Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.
- 34) Уравнения квазистатики. Скин-эффект.
- 35) Однородные и неоднородные плоские волны.
- 36) Волны в однородных анизотропных средах. Поляризация нормальных волн.

- 37) Описание параксиального волнового пучка. Зоны геометрической оптики, Фраунгофера, Френеля.
- 38) Распространение импульсного сигнала в средах с временной дисперсией. Фазовая и групповая скорость.
- 39) Отражение волн от плоской границы раздела двух сред. Формулы Френеля, волновые импедансы. Граничные условия Леонтовича. Приближение геометрической оптики.
- 40) Волны в прямоугольном и круглом волноводах. Структура полей, критическая частота, вырождение. Телеграфные уравнения. Лемма Лоренца и теоремы взаимности.
- 41) Собственные и вынужденные колебания в полых резонаторах. Поля элементарного диполя, диаграмма направленности произвольного распределения тока.
- 42) Приближенные методы решения дифракционных задач: метод геометрической оптики, принцип Гюйгенса-Френеля, метод Кирхгофа. Поперечное сечение рассеяния.
- 43) Способы построения полей в линзовой и зеркальной линиях. Поля в открытых резонаторах.

Программа принята на заседании Ученого совета ИПФ РАН,
протокол № 4 от 7.09. 2022 г.