Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Объединенный институт высоких температур

Российской академии наук

Принято на Ученом совете
ОИВТ РАН
Протокол № 5 от 21.06.2022

«Утверждаю»
Директор ОИВТ РАН

_____ академик Петров О.Ф.

«21» июня 2022 год

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

1.3.13 «Электрофизика, электрофизические установки»

по физико-математическим наукам

Направление подготовки **«Физика и астрономия» 03.06.01**

Москва

2022 год

Введение

В основу настоящей программы положены следующие разделы физики: электроэнергетика, техническая физика, связанные с особенностями анализа механизмов взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме, с изучением методов и принципов использования электрофизических явлений в различных приложениях.

Программа составлена на основе паспорта соответствующей научной специальности номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 24 февраля 2021г. №118.

1. Исследования в области энергетики мощных высоковольтных импульсов, включая процессы накопления и коммутации энергии индуктивного, емкостного, инерционного, высокочастотного, взрывомагнитного и других типов.

Пространственно-временная концентрация энергии. Способы накопления энергии и типы накопителей – емкостного, индуктивного, инерционного, взрывомагнитного типов. Характеристики накопителей энергии, сравнительные характеристики различных типов накопителей. Максимальная плотность энергии у различных типов накопителей, физические ограничения на плотность энергии в накопителях. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Согласование энергии различных видов.

Емкостные накопители энергии. Емкостные накопители энергии на основе малоиндуктивных импульсных конденсаторов. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов. Классификация емкостных накопителей энергии. Защита конденсаторных

батарей от коротких замыканий. Коммутаторы емкостных накопителей энергии (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Схемы поджига и синхронизации разрядников. Особенности работы коммутаторов в генераторах импульсных напряжений и генераторах импульсных токов.

Методы формирования импульсов с помощью емкостных накопителей энергии. Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии. Особенности работы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами в режиме заряда (хранения) и разряда. Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на линиях коаксиального типа с распределенными параметрами. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами различных типов (газовые, жидкостные и твердотельные разрядники, рельсовые разрядники). Особенности работы коммутаторов накопителей на линиях, конструкции коммутаторов. Методы обеспечения режима многоканальной коммутации.

2. Изучение физических закономерностей инициирования, развития и стабильного горения электрического разряда в вакууме, газообразных, жидких, твердых и комбинированных средах. Исследование электродных и приэлектродных явлений в электрических разрядах, а также процессов формирования в сильноточных импульсных разрядах неустойчивостей и ударных волн.

Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах.

Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Технический электролиз. Проводимость жидких изоляторов. Диэлектрические потери. Электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков. Ударные волны, генерируемые в конденсированной среде. Разряд в жидкостях.

Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость. Эффект Холла. Термоэлектричество. Электрический взрыв проводников. Диэлектрические потери, электрическая прочность, пробой в твердом диэлектрике. Поверхностный разряд.

Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Магнитные материалы.

Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Месснера. Остаточное сопротивление.

3. Исследования процессов получения и диагностики плотной высокотемпературной и низкотемпературной плазмы, ускорения плазмы, электрогазодинамического ускорения тел, получение и транспортировка релятивистских электронных пучков.

Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Термическая ионизация, уравнение Саха. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Испускание и поглощение фотонов. Диффузия и дрейф частиц. Амбиполярная диффузия. Соотношение между подвижностью и коэффициентами диффузии.

Проводимость низкотемпературной плазмы. Проводимость полностью ионизированного газа (формула Спитцера). Образование непрерывного и

дискретного спектров в плазме. Свободно-свободные, свободно-связанные и связанно-связанные переходы в нагретом ионизированном газе.

Системы и методы плазменной энергетики. Плазменный пиролиз органических веществ. Плазменные системы переработки токсичных отходов. Генераторы низкотемпературной плазмы (плазмотроны) физические основы и техническая реализация.

Газы. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Ударные волны в идеальном газе. Эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Процессы переноса.

Неидеальная плазма. Параметр неидеальности. Неидеальная плазма в природе и технических устройствах. Эффект убегания электронов.

Физические процессы в ускорителях плазменных сгустков и макрочастиц, ограничивающие скорости ускорения.

4. Исследования физических основ получения сильных и сверхсильных магнитных полей с использованием сверхпроводящих магнитных систем, соленоидов, магнитной кумуляции и других методов.

Магнитные поля в природе и технике. Расчет магнитного поля соленоида в сложных конфигурациях. Применение криостатов для получения сильных магнитных полей с помощью соленоидов постоянного тока. Импульсные и квазистационарные магнитные поля. Предельные времена работы.

Тороидальные магнитные поля. Токамаки.

Магнитная кумуляция. Физические принципы, ограничивающие максимальные значения. Взрывомагнитные устройства.

5. Изучение процессов при движении микро- и макро заряженных частиц в электрическом поле, создание ускорителей микро- и макрочастиц частиц для научных и прикладных целей.

Волны и неустойчивости в сильных пучках заряженных частиц. Волны в холодной стационарной плазме. Продольные волны в холодной дрейфующей плазме. Собственные волны в сильноточных пучках. Волны пространственного заряда в замагниченном пучке.

Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда. Циклотронный резонанс. Неустойчивости в многокомпонентной системе.

Типы ускорителей частиц. Синхротронное излучение электронов в рентгеновском диапазоне. Источники синхротронного излучения. Явления во встречных пучках.

6. Исследования по проблемам экологической и электромагнитной совместимости электрофизических установок с биологическими, физическими, химическими и информационными объектами.

Измерения и расчет электромагнитных полей. Измерения уровня радиопомех.

Воздействие электромагнитных полей на организм человека и других живых существ и организмов.

Помехоустойчивость измерительной аппаратуры.

Электромагнитная совместимость технических средств и устройств. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Электромагнитная стойкость оборудования и микропроцессорных устройств к протеканию токов молний по цепям молниеотводов.

7. Исследование физических процессов высоковакуумной откачки электрофизических комплексов. Элементы вакуумных систем крупных электрофизических комплексов, методы расчета их параметров.

Физика вакуума. Получение вакуума. Основы кинетической теории газов. Способы описания реального газа. Испарение и конденсация.

Конструирование элементов вакуумных систем. Процессы на поверхности твердых тел. Газопроницаемость. Адсорбция и термическая десорбция. Испарение и диссоциация. Проникновение газа сквозь стенки. Десорбция при электрофизическом воздействии. Термическая десорбция с поверхности. Десорбционный поток с разных поверхностей. Технологические вакуумные установки.

Газовый разряд при низком давлении.

Создание перспективных материалов и покрытий (2D- материалы, наноматериалы, пленки, гетероструктуры и др.). Обработка поверхности.

Вакуумные технологии в промышленности и научных исследованиях.

Конструкция форвакуумных, струевых, диффузионных, турбомолекулярных, комбинированных турбомолекулярных, сорбционных, крионасосов, геттерных, ионных насосов. Основные типы вакуумных соединений. Стыковка различных материалов в вакуумных системах.

Электроламповые приборы. Сканирующие туннельные микроскопы. Напылительные установки. Масс-спектрометры

8. Исследование электрофизических, электромагнитных и радиационных явлений и процессов в различных средах для решения практических задач промышленного производства.

Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Теорема Пойнтинга. Уравнение для потенциалов электромагнитного поля. Решение волнового уравнения.

Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения электромагнитного поля в проводник. Скин-эффект.

Распространение электромагнитного поля в волноводах. Критическая длина волны. Фазовая и групповая скорости.

Потенциал объемных и поверхностных зарядов. Двойной электрический слой. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия электрического поля.

Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия.

Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Сильноточный газовый разряд в плотных средах.

Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Диэлектрические потери. Электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков. Ударные волны, генерируемые в конденсированной среде. Разряд в жидкостях.

Распространение сильноточных пучков в вакууме. Предельный ток, ограниченный пространственным зарядом. Предельный ток Альвена.

Распространение электронных пучков в плазме и газе.

Волны и неустойчивости в сильноточных пучках заряженных частиц. Электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции.

Излучение релятевистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде. Спонтанное и индуцированное излучение. Вынужденное комбинационное рассеяние.

Численные методы решения краевых задач электродинамики.

Волны и неустойчивости в сильных пучках заряженных частиц.

Плазменная, лазерная и электронно-пучковая обработка и модернизация поверхностей.

Холодная плазма в медицине.

Радиационные, лазерные, рентгеновские технологии в медицине.

Плазменные технологии утилизации и переработки твердых бытовых, медицинских отходов и отравляющих веществ. СВЧ и ВУФ технологии обеззараживания.

9. Исследование явлений, связанных с разделением заряда и переносом ионов под действием электрического поля, в жидких, твёрдых, газообразных диэлектриках и многофазных средах. Развитие математических и численных моделей соответствующих процессов.

Электронные и ионные процессы в газовом разряде. Теория пробоя Таунсенда.

Самостоятельные разряды в газах. Условия самостоятельного разряда. Закон Пашена.

СВЧ-пробой газа. Оптический пробой.

Искровой разряд в газе. Лавинно-стримерный процесс. Численное моделирование стримерных разрядов. Разряд в виде молнии.

Пробой газа в наносекундном временном диапазоне.

Электрический пробой твердых диэлектриков. Пробой твердых диэлектриков ударной ионизацией. Развитие разряда в твердых диэлектриках в однородном и неоднородном электрических полях.

Пробой жидких диэлектриков. Влияние влаги, примесей и пузырьков газов на пробой жидких диэлектриков.

Диэлектрические потери, Их зависимости от агрегатного состояния вещества. Методы расчета диэлектрических потерь.

Литература

1. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 2 Теория поля. Т. 5 Электродинамика сплошных сред / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматгиз, 2001.
2. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
3. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Т. 1–4 / Под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2000.
4. Физика и техника мощных импульсных систем / Под ред. Е.П. Велихова. М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Лебедев И.В. Техника и приборы сверхвысоких частот. М., Высшая школа. 1972.
6. Месяц Г.А. Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга. М.: Наука, 2000.
7. Глебов И.А., Рутберг Ф.Г. Мощные генераторы плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. 2 изд., М., 1991.
9. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика/ Под ред. Ю.В. Пименова. М. Радио и связь. 2000.
10. Вычислительные методы в электродинамике/ Под ред. Р. Митры, М., Мир. 1977.
11. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
12. Шнеерен Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре Сверхсильных токов. Изд. 2-е., М., Энергоатомиздат, 1992.

СОГЛАСОВАНО:

Ученый секретарь ОИВТ РАН, д.ф.-м.н. Амиров Р.Х.

Заведующая аспирантурой, к.ф.-м.н. Мартынова И.А.