

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИЭФ УрО РАН

член-корр. РАН,
д.ф.-м.н. С.А. Чайковский

« ____ » _____ 2022 г.

ПРОГРАММА

для сдачи вступительного испытания для приема
на обучение по образовательным программам высшего образования –
программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре ИЭФ УрО РАН

по специальности

1.3.13 - “Электрофизика, электрофизические установки”

в пределах группы специальностей
03.06.00 – «Физика и астрономия»

Екатеринбург,
2022г.

Раздел I. Общие разделы.

I.1. Основные понятия электродинамики.

I.1.1. Электростатика. Закон Кулона. Электрическое поле. Электростатический потенциал. Уравнения электростатики. Граничные условия. Разложение по мультиполям. Энергия и силы в электростатическом поле.

I.1.2. Магнитостатика. Плотность тока и магнитное поле. Закон Био-Савара. Сила Лоренца и формула Ампера. Сохранение электрического заряда и уравнение непрерывности. Уравнения магнитостатики. Векторный потенциал. Граничные условия. Магнитный момент. Энергия и силы в магнитном поле. Коэффициенты индуктивности.

I.1.3. Уравнения Максвелла. Свободное электромагнитное поле. Закон электромагнитной индукции. Уравнения Максвелла. Граничные условия. Системы единиц измерения электрических и магнитных величин. Анализ системы уравнений Максвелла. Энергия и поток энергии электромагнитного поля. Электромагнитные потенциалы. Свободное электромагнитное поле. Электромагнитные волны.

I.1.4. Специальная теория относительности, релятивистская механика и теория поля. Принцип относительности и преобразования Лоренца. Кинематика релятивистских частиц. Энергия и импульс. Движение заряженных частиц в электромагнитных полях. Преобразование напряженностей электромагнитного поля. Приближенные методы. Усреднение по быстрым осцилляциям. Фазовые траектории и фазовый портрет. Адиабатические инварианты. Четырехмерная формулировка электродинамики.

I.1.5. Излучение и рассеяние электромагнитных волн. Функция Грина и запаздывающие потенциалы. Излучение нерелятивистских систем зарядов и токов. Электрическое дипольное излучение. Квадрупольное и магнитно-дипольное излучение. Излучение релятивистских заряженных частиц. Взаимодействие заряженных частиц с излучением.

I.2. Электромагнитные явления в веществе.

I.2.1. Уравнения постоянных электрического и магнитного полей в веществе. Усреднение микроскопических уравнений Максвелла. Сторонние заряды и токи. Напряженность электрического поля и магнитная индукция. Сила Лоренца в макроскопической электродинамике. Уравнения электростатики и магнитостатики сред. Векторы электрической и магнитной поляризации. Связанные заряды и ток намагничивания. Электрическая и магнитная восприимчивости и проницаемости. Электрическая индукция и напряженность магнитного поля. Поляризация вещества в постоянном поле. Электрическая поляризация. Действующее и среднее (макроскопическое) поле. Магнитная поляризация. Электропроводность. Проводники, полупроводники, диэлектрики.

I.2.2. Электростатика проводников и диэлектриков. Основные понятия и методы электростатики: уравнения и граничные условия; потенциальные и емкостные

коэффициенты; теорема взаимности Грина. Специальные методы электростатики: метод разделения переменных в криволинейных координатах; метод интегральных преобразований; метод инверсии; метод функций Грина; метод конформных отображений. Энергия, силы и термодинамические соотношения для проводников и диэлектриков: термодинамические функции диэлектрика; силы, действующие на проводники и диэлектрики в электрическом поле; тензор напряжений.

1.2.3. Постоянный ток и магнитное поле в веществе. Постоянный ток: уравнения и граничные условия с учетом сторонних ЭДС; квазилинейные проводники и законы Кирхгофа; джоулевы потери и транспортные явления в постоянном электрическом поле; принцип симметрии кинетических коэффициентов Онзагера; термоЭДС, эффекты Томсона и Пельтье. Магнитное поле в магнетиках: уравнения и граничные условия; ферромагнетики и спонтанная намагниченность; скалярный потенциал. Энергия, силы и термодинамические соотношения для магнетиков: термодинамические функции магнетика; силы в магнитном поле; тензор натяжений; ферромагнетизм; спонтанная намагниченность; антиферромагнетизм. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников: основные опытные факты; термодинамика сверхпроводников; феноменологическая магнитостатика сверхпроводников; теория Лондонов; полуфеноменологическая квантовая теория Гинзбурга-Ландау.

1.2.4. Квазистационарное электромагнитное поле. Квазистационарные явления в линейных проводниках: условия квазистационарности; комплексное сопротивление контура; собственные колебания и формулы Томсона. Уравнения квазистационарного поля; вихревые токи и скин-эффект; толщина скин-слоя; диффузия магнитного поля; магнитная поляризация. Магнитная гидродинамика: система уравнений магнитной гидродинамики; диссипативные процессы; магнитная вязкость; магнитное давление и магнитные натяжения; замороженность и диффузия магнитного поля; простые волны Римана; сильные магнитогидродинамические разрывы; ударные волны.

1.2.5. Уравнения Максвелла для переменных и неоднородных полей. Различные формы уравнений Максвелла в средах. Уравнения связи и электромагнитные функции отклика: продольная и поперечная диэлектрические проницаемости; принцип причинности. Энергетические соотношения для переменного электромагнитного поля в веществе: диссипация электромагнитной энергии; энергия поля в прозрачной диспергирующей среде; продольные электрические колебания. Электродинамика движущихся сред: уравнения Максвелла и уравнения связи Минковского; электромагнитные потенциалы в движущихся средах; векторы Герца и функции Грина; электромагнитные силы, действующие на вещество в переменном поле.

1.3. Физика плазмы.

1.3.1. Основные понятия. Идеальность и неидеальность; квазинейтральность и разделение зарядов, электростатическое экранирование; плазменный параметр, критерий существования плазмы; классификация видов плазмы.

1.3.2. Плазма как система независимых частиц. Постоянные электрическое и магнитное поля; неоднородные магнитное и электрические поля; нестационарные электрическое и магнитное поля; адиабатические инварианты.

1.3.3. Плазма как жидкость. Связь между физикой плазмы и электродинамикой сплошных сред; гидродинамические уравнения для плазмы; дрейф плазмы

перпендикулярно магнитному полю; движение плазмы вдоль магнитного поля; плазменное приближение.

1.3.4. Волны в плазме. Представления волн; групповая скорость; плазменные колебания и электронные плазменные волны; звуковые и ионно-звуковые волны; обоснованность плазменного приближения; различие между ионно-звуковыми и плазменными волнами; магнитогидродинамические волны; магнитозвуковые волны.

1.3.5. Диффузия и сопротивление. Диффузия и подвижность в слабоионизованных газах; распад плазмы вследствие диффузии; рекомбинация; диффузия плазмы поперек магнитного поля; столкновения в полностью ионизованной плазме; уравнения одножидкостной магнитной гидродинамики плазмы; диффузия в полностью ионизованной плазме; решения уравнения диффузии; диффузия Бома.

1.3.6. Равновесие и устойчивость. Равновесие плазмы в магнитном поле, параметр β , примеры равновесия плазмы; устойчивость границы плазмы в магнитном поле; желобковая неустойчивость плазмы и энергетический принцип устойчивости в магнитной гидродинамике; магнитогидродинамическая неустойчивость равновесия при конечной электропроводности; «дрейфовая» неустойчивость плазмы.

Раздел II. Специальные разделы.

II.1. Эмиссия заряженных частиц. Эмиссия электронов из твердого тела, термо- и автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная электронная эмиссия, ионная эмиссия.

II.2. Газовый разряд. Формы разряда в газах: самостоятельный и несамостоятельный разряды, лавинный разряд. Стримерная форма разряда. Переход от стримерной к канальной форме разряда. Коронный разряд, тлеющий разряд, дуговой разряд, изоляционные свойства газовых диэлектриков.

II.3. Проводники и диэлектрики в сильных полях. Электрический взрыв проводников, диэлектрические потери, электрическая прочность, пробой в жидких и твердых диэлектриках, поверхностный разряд.

II.4. Пространственно-временная концентрация энергии. Способы пространственно-временной концентрации энергии, типы накопителей, характеристики накопителей энергии, сравнительные характеристики различных типов накопителей, максимальная плотность энергии у различных типов накопителей, способы передачи энергии от накопителей к нагрузке.

II.5. Емкостные накопители энергии (ЕНЭ). ЕНЭ на основе малоиндуктивных импульсных конденсаторов; принципы построения ГИН и ГИТ; коммутаторы ЕНЭ; схемы поджига и синхронизации разрядников; особенности работы коммутаторов в ГИН и ГИТ; первичные и промежуточные ЕНЭ; методы формирования импульсов с помощью ЕНЭ; ЕНЭ на линиях с распределенными параметрами и особенности их работы в режиме зарядки и разряда; коммутаторы ЕНЭ на линиях с распределенными параметрами; конструкции разрядников, методы обеспечения многоканальной коммутации.

II.6. Индуктивные накопители энергии. Магнитные системы накопителей, схемы вывода энергии, типы и принципы построения коммутирующей аппаратуры, газодинамические, электродинамические, взрывные и электровзрывные размыкатели тока.

II.7. Методы измерения импульсных токов, напряжений и магнитных полей. Пояс Роговского, магнитные зонды, датчики на основе эффекта Фарадея, омические и емкостные делители напряжения.

II.8. Физика сильноточных пучков заряженных частиц. Формирование сильноточных пучков в вакууме; предельный ток, ограниченный пространственным зарядом; предельный ток Альфвена; формирование виртуального катода; взрывная эмиссия в сильноточном диоде; плоский диод в режиме Богуславского-Ленгмюра; парapotенциальный поток в плоском диоде; коаксильный диод с магнитной изоляцией; сильноточные ионные диоды: диод с магнитной изоляцией, рефлексный диод, пинч-рефлексный диод.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Месяц Г.А. Мощная импульсная энергетика и электроника. - М.: Наука, 2004. - 704 с.
2. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Феймановские лекции по физике. – М.: Мир, в. 1, 2, 3, 4, 1965; в. 5, 6, 7, 8, 1966; в. 9, 1967; задачи и упражнения с решениями, 1969.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 3. Электричество. – М.: Наука, 1977.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 4. Оптика. – М.: Наука, 1980.
5. Тамм И.Е. Основы электричества. – М.: Наука, 1976.
6. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. – М.: Наука, 1985.
7. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Часть 1. Микроскопическая теория. – Москва, Ижевск: РХД, 2005.
8. Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Часть 2. Теория электромагнитных явлений в веществе. – Москва, Ижевск: РХД, 2005.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Наука, 1973.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. - М.: Наука, 1975.
11. Джексон Дж. Классическая электродинамика. – М.: Мир, 1965.
12. Пановский В., Филипс М. Классическая электродинамика. – М.: ГИФМЛ, 1963.
13. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. – М.: Высшая школа, 1990.
14. Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н. Методы расчета электростатических полей. – М.: Высшая школа, 1963.
15. Хрюнов А.В. Основы релятивистской физики. – М.: Физматкнига, 2003.
16. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. – М.: Наука, 1972.
17. Франк-Каменецкий А.Д. Лекции по физике плазмы. М.: Наука, 1970.
18. Чен Ф. Введение в физику плазмы. – М.: Мир, 1987.
19. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. – М.: Атомиздат, 1979.
20. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. – М.: Наука, 1979.
21. Елисон М.И., Васильев Г.Ф. Автоэлектронная эмиссия. – М.: ГИФМЛ, 1958.

22. Бродский А.М., Гуревич Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. - М.: Наука, 1973.
23. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. – М.: Наука, 1966.
24. Бугаев С.П., Литвинов Е.А., Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Взрывная эмиссия электронов. // УФН, 1975. т. 115. С. 101-120.
25. Сливков И.Н. Процессы при высоком напряжении в вакууме. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
26. Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме. –Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1984.
27. Раховский В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме. - М.: Наука, 1970.
28. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. М.: Наука, 1968.
29. Вакуумные дуги. /Под ред. Д. Лафферти. - М.: Мир, 1987.
30. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Том 1. Общие вопросы электродинамики газов. - М.-Л.: ГИТТЛ, 1952.
31. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Том 2. Установившийся ток. / Под ред. Л.А. Сена и В.Е. Голанта. – М.: Наука, 1971.
32. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1992.
33. Никулин С.П., Чолах С.О. Электронные и ионные процессы в газоразрядных системах низкого давления. – Екатеринбург: Изд. УГТУ-УПИ, 2008.
34. Лозанский Э.Д., Фирсов О.Б. Теория искры. – М.: Атомиздат, 1975.
35. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. – М.: Наука, 1991.
36. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд. – М.: Изд. МФТИ, 1997.
37. Сканапи Г.И. Физика диэлектриков (область сильных полей). – М.: Физматгиз, 1958.
38. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
39. Дашук П.Н., Зайенц С.Л., Комельков В.С., Кучинский Г.С., Николаевская Н.Н., Шкуропат П.И., Шнеерсон Г.А. Техника больших импульсных токов и магнитных полей. – М.: Атомиздат, 1970.
40. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М.: Мир, 1972.
41. Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц. – М.: Мир, 1980.
42. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. - М.: Мир, 1984.