

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'A.S.-U. Mustafaev'.

**Руководитель ОПОП ВО
Профессор А.С.-У. Мустафаев**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО
ИЗУЧЕНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ**

Уровень высшего образования:	Подготовка кадров высшей квалификации
Направление подготовки:	03.06.01 Физика и астрономия
Направленность (профиль):	Физика плазмы
Форма обучения:	очная
Нормативный срок обучения:	4 года
Составитель:	д.ф.-м.н., профессор А.С.-У. Мустафаев

Санкт-Петербург

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Общие требования к самостоятельной работе

Самостоятельная работа с книгой

Назначение и формы проведения практических (семинарских) занятий

Подготовка аспирантов к семинарскому занятию

Содержание и методические рекомендации по изучению дисциплины «Физика плазмы»

Примерный перечень вопросов для самопроверки

Литература ко всем темам

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы дисциплины «Физика плазмы» и предназначены для самостоятельного изучения обучающимися.

Целью практических занятий является ознакомление аспирантов с ключевыми проблемами научного характера в сфере физики низкотемпературной плазмы.

Аспиранту необходимо продемонстрировать умение самостоятельно проводить научные исследования в рамках направления подготовки, критически анализировать существующие методы решения задач, разрабатывать возможные пути решения сложившихся проблем в области современной физики плазмы. При этом необходимо использовать как отечественный, так и зарубежный опыт, применять современные средства сбора и обработки информации.

Практические занятия, которые составляют основу теоретической подготовки обучающихся, позволяют систематизировать, закрепить и углубить научные знания теоретического характера, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины, стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на практических занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Данные методические служат руководством для решения поставленных выше задач.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Цель курса — формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний о фундаментальных процессах и явлениях, протекающих с участием заряженных частиц в ионизированных и проводящих средах, физической кинетике, магнитной гидродинамике, электродинамике сплошных сред, физике волновых процессов в природе и в лабораторных или промышленных установках.

Согласно рабочей программе дисциплины «Физика плазмы» на самостоятельную работу аспирантам выделяется определенное количество часов. В течение этого времени аспиранты самостоятельно изучают литературу и источники. Они имеют возможность обсудить прочитанное с преподавателем дисциплины во время плановых консультаций, с другими аспирантами, а также на лекциях, задавая уточняющие вопросы лектору.

В течение изучения курса выполняется самостоятельная работа по изучению разделов дисциплины с последующим представлением устного доклада по выбранной теме.

Итоговая форма контроля учебной дисциплины – экзамен, к которому допускаются аспиранты, выполнившие все виды самостоятельной подготовки и отчитавшиеся по ним перед преподавателем.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА С КНИГОЙ

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и их выводы, а также общие позиции и концепции. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные положения. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки определений и основных понятий истории и философии науки, новые незнакомые термины и названия и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных идей, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к дифференцированному зачету. Изучение курса должно обязательно сопровождаться ответами на вопросы для самопроверки, позволяющими контролировать степень успешности изучения учебного материала.

НАЗНАЧЕНИЕ И ФОРМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ (СЕМИНАРСКИХ) ЗАНЯТИЙ

Общая структура семинарского занятия выглядит следующим образом:

- вступительное слово преподавателя;
- последовательное заслушивание аспирантов, выступающих с докладами, сообщениями по заранее обозначенным вопросам;
- обсуждение выступлений, дополнения слушателей;
- определение ценности прослушанной информации для практического использования, выявление положительных и отрицательных моментов, разрешение проблем;
- подведение итогов и заключительное слово преподавателя.

План семинара должен быть известен аспирантам за 5-10 дней в зависимости от темы. Аспирантов знакомят с методикой проведения семинара, раскрывают значение каждого вопроса, рекомендуют составить тезисы ответов на вопросы семинарского занятия.

Данный вид занятия учит выступать с сообщениями, учит точно и доказательно выражать свои мысли на языке конкретной науки, анализировать факты, вести диалог, дискуссию, укрепляет интерес аспиранта к научным исследованиям, учит связывать научно-теоретические положения с практической деятельностью.

В ходе занятий у аспирантов формируются навыки, умения:

- анализировать литературные источники;
- кратко излагать их содержание;
- обобщать теоретический материал;
- делать краткие сообщения и доклады;
- выступать в ходе обсуждения;
- делать выписки, составлять план;
- пользоваться мыслительными операциями анализа, синтеза, сравнения;

- доказательно рассуждать;
- выделять и формулировать проблемы;
- находить пути их решения.

Назначение семинара: углубление, систематизация и закрепление теоретических знаний аспирантов, анализ проблемных вопросов, обмен опытом.

Одной из основных функций семинара является развивающая (развитие критического, творческого мышления, умения убеждать, обосновывать, отстаивать свою точку зрения).

Оценочная функция заключается в формировании оценки, отношения, ценностные ориентации в ходе обсуждений, дискуссий, споров, что, в конечном счете, помогает усвоению системы гуманистических ценностей, определяющих становление личностного в человеке.

Организационно-ориентационная функция проявляется в направляемой преподавателем непосредственно или через методические пособия и рекомендации подготовке аспирантов к семинарскому занятию.

Процесс обсуждения проблем дает возможность участникам глубже познакомиться с проблематикой изучаемой науки, разнообразием точек зрения, обнаружить пробелы в своих знаниях, что соответственно стимулирует познавательные потребности. В этом проявляется мотивационная функция семинара.

Формами проведения семинарских занятий могут быть:

- обсуждение сообщений и докладов аспирантов по важнейшим исследовательским проблемам в рамках направления подготовки;
- обсуждение инициативных задач и вопросов, предложенных аспирантами;
- анализ теоретических положений и концепций дисциплины;
- семинар-дискуссия (диспут);
- семинар – «исследование»;

Интенсивность работы зависит от форм проведения семинаров и форм контроля. Эффективным методом самостоятельной работы аспирантов является семинар в виде развернутой беседы по плану, заранее им известному, а также небольшого сообщения или доклада с последующим их обсуждением. В качестве тем для сообщений и докладов можно взять отдельные вопросы плана семинара или рекомендовать проблематику, углубляющую и конкретизирующую семинарскую тему.

Распространенной формой является заслушивание и обсуждение докладов аспирантов. Подготовка доклада включает несколько этапов и предусматривает длительную и систематическую работу аспиранта и научного руководителя, оказываемую ему по мере необходимости. На первом этапе аспирант обращается к различным источникам, ищет и изучает разнообразную информацию. Эта стадия характеризуется тем, что аспирант намечает конкретные цели работы: что узнать, что уточнить, что уяснить, каким должен быть конечный результат. На втором этапе планирования разрабатывается содержание, устанавливается объем работы, корректируется, если необходимо, первоначальная формулировка темы, составляется план работы, тщательно изучается отобранный материал, определяется логика раскрытия темы. На следующем этапе материал систематизируется, уточняются композиция, выводы и обобщения, пишется текст, оформляется работа. Успех доклада в значительной степени зависит от того, как участвует группа в его обсуждении.

Активной формой семинара является дискуссия. Дискуссия - это публичное обсуждение какого-либо проблемного вопроса, проблемы. Дискуссия оправдывает свое название в том случае, если обсуждаемый вопрос сложен, важен и неоднозначен по ходу и толкованию, т.е. предполагает альтернативные ответы. Дискуссия может быть намечена и спровоцирована преподавателем, но может возникнуть спонтанно.

Близка к дискуссии другая форма публичного обсуждения проблем – диспут - специально подготовленный и организованный публичный спор на научную или общественно важную тему, в котором участвуют две и более стороны, отстаивающие свои позиции. Целью семинара-диспута является формирование оценочных суждений, утверждение мировоззренческих позиций. Участников лучше разделить на подгруппы, каждой из которых предстоит дискутировать с другой по заранее разработанным вопросам, подготовить сообщения и аргументы.

Семинар-исследование - это форма группового занятия, смысл которого заключается в приобретении, распространении и частичной реализации с привнесением в этот процесс компонентов научного исследования. Семинар-исследование осуществляется в три этапа и часто выходит за рамки отведенного для занятия времени. Здесь важны не только собственно семинар, но и его подготовка, и реализация теоретических и практических наработок.

Задача семинара-исследования - осмысленное, целенаправленное приобретение и углубление знаний, реализация воспитательной, практической и методологической функции при изучении темы семинара.

Кроме вышеназванных форм семинарских занятий можно использовать разнообразные виды работы, которые будут плодом творческой деятельности преподавателя.

ПОДГОТОВКА АСПИРАНТОВ К СЕМИНАРСКОМУ ЗАНЯТИЮ

Готовясь к семинару, аспиранты должны:

1. Изучить рекомендованную и подобрать дополнительную литературу;
2. Выделить основные этапы проведения работ по теме доклада;
3. Изучить этапы и раскрыть их основное содержание;
4. Выделить информацию, касающуюся технических требований проектирования;
5. Подобрать примеры выполненных работ по теме доклада;
6. Подготовиться к докладу и создать презентацию.

При хорошей подготовке семинарское занятие должно пройти на необходимом методическом уровне и принести интеллектуальное удовлетворение всей группе.

При подготовке аспирант должен правильно оценить вопрос, который он взял для выступления к семинарскому занятию. Но для того чтобы правильно и четко ответить на поставленный вопрос необходимо правильно уметь пользоваться учебной и дополнительной литературой.

Прежде чем отправляться в книжное хранилище, сначала необходимо оценить свою домашнюю методическую библиотеку. Возможно, в ней найдутся полезные для работы книги и статьи из журналов. Затем следует изучить фонды библиотеки вуза, в том числе электронные, а после этого уже обращаться в публичные библиотеки.

Поиски необходимой литературы - продолжительный труд. Значение его огромно, поскольку от полноты изучения опубликованного материала будет зависеть качество доклада и последующего выполнения курсовой работы.

Для работы в справочно-библиографическом отделе библиотеки необходимо спланировать свое время, выделить определенные дни и часы.

Более современный способ провести библиографический поиск - изучить электронную базу данных по теме, что сегодня возможно в каждой библиотеке. На сайте Санкт-Петербургского горного университета доступны следующие электронные библиотечные системы:

- ЭБС издательства «Лань» <https://e.lanbook.com/>
- ЭБС издательства «Юрайт» <https://biblio-online.ru/>
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>
- ЭБС «ZNANIUM.COM» <https://znanium.com>
- ЭБС «IPRbooks» <https://iprbookshop.ru>
- ЭБС «Elibrary» <https://elibrary.ru>
- Автоматизированная информационно-библиотечная система «Mark -SQL» <https://informsystema.ru>
- Система автоматизации библиотек «ИРБИС 64» <https://elnit.org>

Кроме изучения литературы по вопросу рассматриваемой темы, необходимо правильно написать доклад для своего выступления.

Доклад - вид самостоятельной работы, используемый в учебных занятиях, способствующий формированию навыков исследовательской работы, расширяющий познавательные интересы, приучающий критически мыслить. При написании доклада по заданной теме составляется план,

подбираются основные источники. В процессе работы с источниками, систематизируют полученные сведения, делают выводы и обобщения.

Подготовка доклада требует от аспиранта большой самостоятельности и серьезной интеллектуальной работы, которая принесет наибольшую пользу, если будет включать с себя следующие этапы:

- анализ изученного материала, выделение наиболее значимых для раскрытия темы доклада фактов, этапов и положений;
- обобщение и логическое построение материала доклада, например, в форме развернутого плана;
- написание текста доклада с соблюдением требований научного стиля.

Построение доклада, как и любой другой работы, традиционно включает три части: вступление, основную часть и заключение. Во вступлении указывается тема доклада, цель, задачи и место в структуре землеустройства, кадастра и мониторинга земель. Обязательно дается краткий обзор источников, на материале которых раскрывается тема и т.п. В заключении обычно подводятся итоги, формулируются выводы, подчеркивается значение рассмотренного вопроса. Основная часть доклада является авторской работой аспиранта, но она должна освещать основные этапы, акценты, собственные предложения по вариантам решения поставленной проблемы.

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКА ПЛАЗМЫ»

Тема 1. Элементарные процессы в низкотемпературной плазме

Цели и задачи занятия:

Изучение типичных разрядов в постоянном электрическом поле. Классификация разрядных процессов. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле. Образование и гибель заряженных частиц в газе. Испускание электронов твердыми телами. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями. Излучение и поглощение света плазмой.

Темы практических занятий (семинаров)

1. Типы газовых разрядов и их ключевые особенности.
2. Столкновения заряженных частиц в плазме. Рождение и гибель частиц.
3. Взаимодействие заряженных частиц с электрическими и магнитными полями.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Потери импульса и энергии электронов при столкновениях.
2. Возбуждение и дезактивация электронных состояний.
3. Термоэлектронная эмиссия.
4. Плазма как сплошная среда.

Темы устных докладов, сообщений

1. Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Амбиполярная диффузия.
2. Обмен импульсом и энергией в общем случае упругого рассеяния. Ионизация.
3. Плазменные колебания и волны.

Методические указания:

Тема элементарных процессов в низкотемпературной плазме является базовой для всего курса физики плазмы и посвящена ее основным свойствам, происходящим в ней элементарным и коллективным процессам, технологическим приложениям. Интерес к этим направлениям, проявившийся почти двести лет тому назад, не только не уменьшился сегодня, но, наоборот возрастает. В первую очередь это связано с поисками новых источников энергии, проблемами энергосбережения, развития плазмохимии и нанотехнологий. При рассмотрении темы необходимо обратить внимание на основы теории взаимодействия частиц и кинетики столкновительно-излучательных процессов в низкотемпературной плазме с учетом ионизации и диссоциации молекулярных газов. Также необходимо детально рассмотреть различные виды распределений

частиц по свободным и связанным состояниям и эффективные сечения различных процессов, необходимые для расчета констант скорости элементарных процессов. Значительное внимание в данной теме уделяется моделям плазмы.

Рекомендуемая литература:

основная: [1-13];

дополнительная: [1-10].

Тема 2. Фундаментальные методы теоретического и экспериментального исследования разрядной плазмы

Цели и задачи занятия:

Изучение кинетического уравнения для электронов в слабоионизованном газе, в присутствии электрического поля. Описание электронных процессов при помощи функции распределения по скоростям. Электрические зонды. Вольтамперная характеристика одиночного зонда. Теоретические основы диагностики разреженной плазмы по электронному току. Современные методы зондовой диагностики плазмы с произвольной степенью анизотропии. Неконтактные методы исследования плазмы.

Темы практических занятий (семинаров)

1. Функция распределения. Фазовое пространство. Моменты функции распределения.
2. Кинетическое уравнение.
3. Теории зондовых методов исследования плазмы.
4. Диагностика неравновесной плазмы.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Положения теории Ленгмюра для электрического зонда. Общий вид зондовой вольтамперной характеристики.
2. Использование зондов для исследования гетерогенных процессов в плазме.
3. Методы получения энергетического распределения электронов из зондовых измерений.
4. Факторы, вносящие искажение в вольтамперную характеристику ленгмюровского зонда.

Темы устных докладов, сообщений

1. Магнитные и электрические зонды. Элементы зондовых систем и их параметры.
2. Зондовый метод для диагностики сильнонеравновесной анизотропной плазмы.
3. Неконтактные методы исследования плазмы. Основы магнитной диагностики.

Методические указания:

Методы диагностики плазмы подразделяются на зондовые и оптические. Зондовый метод является контактным методом диагностики. С этим обстоятельством связано одно из его преимуществ по сравнению, например, с оптическими и СВЧ - методами исследования плазмы, а именно возможность измерения локальных характеристик плазмы, т.е. пространственного распределения параметров. Относительная простота технических средств и эксперимента являются важным преимуществом этого метода. Основным недостатком зондового метода связан со сложностью теории, с помощью которой по данным измерений восстанавливаются характеристики плазмы.

В рамках темы 2 необходимо особое внимание уделить методам диагностики неравновесной анизотропной плазмы. Важно помнить, что классические методы диагностики равновесной низкотемпературной плазмы исходят из предположения изотропной функции распределения электронов по скоростям, которая представляется в виде приближения Лоренца $f = f_0 + f_1 \cos \theta$.

Как правило, в изотропной плазме $f_1 \ll f_0$, а компоненты более высокого ранга малы и их можно не учитывать. В неравновесной анизотропной плазме (в прикатодных областях разрядов, пучковых низковольтных разрядах) компоненты более высокого ранга, чем f_1 достаточно велики и для корректного описания кинетических процессов должны быть учтены в описании полной функции распределения заряженных частиц.

Рекомендуемая литература:

основная: [1-13];

дополнительная: [1-10].

Тема 3. Разряды разных типов

Цели и задачи занятия:

Рассмотрение процесса пробоя газов в полях различных частотных диапазонов. Слабоанизотропная плазма. Стабильный тлеющий разряд. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия. Коронный разряд. Дуговой разряд. Определение и отличительные признаки дуги. Пучковые разряды разных видов как пример сильнонеравновесной анизотропной плазмы. Короткие пучковые разряды и структура их функции распределения. Нелокальные плазменные технологии. Пучково-плазменная неустойчивость.

Темы практических занятий (семинаров)

1. Локальная функция распределения во внешнем электрическом поле.
2. Расчет нелокальной функции распределения электронов.
3. Критерии возбуждения и кинетика плазменных неустойчивостей.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Генерация волн при взаимодействии пучков заряженных частиц с плазмой.
2. Самостоятельный разряд. Пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном однородном поле.
3. Определение условий зажигания тлеющего разряда и его поддержание.

Темы устных докладов, сообщений

1. Тлеющий разряд как модель слабоанизотропной плазмы.
2. Особенности пучковых разрядов и перспективы их практического применения.
3. Прохождение плотного пучка электронов через плазму: раскачка колебаний.
4. Опыт и перспективы практического применения разрядов разного типа.
5. Нелокальные плазменные технологии.

Методические указания:

В рамках темы 3 детально рассматриваются тлеющий разряд в гелии и низковольтный пучковый разряд в этом же газе. Положительный столб разряда низкого давления отличается сравнительной простотой происходящих в нем процессов. Эти процессы достаточно хорошо изучены экспериментально и теоретически, что позволило создать теорию положительного столба для различных условий. В этой связи на примере разряда такого типа целесообразно изучать структуру функции распределения заряженных частиц и элементарные процессы в плазме, а также можно получить представление о свойствах слабоанизотропной плазмы. Под низковольтным пучковым разрядом (НПР) подразумевается такой разряд, в котором функция распределения электронов сильно неравновесна и в котором различаются две группы электронов: медленные, тепловые электроны плазмы и быстрые, неравновесные электроны пучка. Интерес к пучковой плазме низкого давления значительно вырос в течение последних десятилетий, прежде всего в связи с возникновением плазменной электроники. Быстрое развитие этого нового направления физики началось после открытия пучково-плазменной неустойчивости. В этой связи НПР отличается многообразием и сложностью протекающих в нем процессов, и позволяет со всей детальностью изучить процессы и структуру распределения заряженных частиц в сильнонеравновесной анизотропной плазме.

Рекомендуемая литература:

основная: [1-13];

дополнительная: [1-10].

Тема 4. Некоторые приложения газоразрядной плазмы

Цели и задачи занятия:

Знакомство с приборами плазменной энергетики на базе плазмы с поверхностной и объемной ионизацией (термоэмиссионные преобразователи, ключевые элементы, стабилизаторы тока и напряжения, и др.). Роль геометрии электродов и сужений плазменного канала в повышении

эффективности приборов. Неустойчивости в приборах плазменной энергетики.

Темы практических занятий (семинаров)

1. Приборы плазменной энергетики на базе плазмы с поверхностной ионизацией.
2. Приборы плазменной энергетики на базе плазмы с объемной ионизацией.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Коэффициент отражения тепловых электронов от поверхности и эмиссионная неоднородность катодов.
2. Перспективы повышения энергетических характеристик кнудсеновского термоэмиссионного преобразователя.
3. Электрокинетические характеристики плазменного диода в режиме НПР.

Темы устных докладов, сообщений

1. Идеальный кнудсеновский Cs-Wa диод с поверхностной ионизацией.
2. Плазменный кнудсеновский Cs-Wa термоэмиссионный преобразователь.
3. Плазменные управляемые стабилизаторы тока и напряжения.

Методические указания:

В последние годы в плазменной энергетике активно развивается новое направление, связанное с созданием радиационно-стойких управляемых приборов, на базе плазмы с нелокальной ионизацией. Использование нелокальных эффектов открывает возможности гибкого регулирования рабочих параметров прибора путем независимого управления группами электронов разных энергий, ответственных за различные плазменные процессы. Успех технических решений при разработке нового класса приборов плазменной энергетики немыслим без широкого исследования плазмы низковольтного разряда в инертных газах, существование которого известно давно, но до настоящего времени он недостаточно изучен. К настоящему времени в литературе описаны два вида пучкового разряда: высоковольтный и низковольтный. Объединяющим признаком для этих разрядов является прохождение через плазму разряда группы пучковых электронов. Отметим, что информация о сильнонеравновесной функции распределения крайне необходима, так как ее высокоэнергетическая часть целиком определяет кинетику процессов возбуждения, ионизации и токопереноса в плазме. Большая практическая значимость таких работ определяется возможностью разработки и создания принципиально новых приборов и устройств, использующих пучковую плазму: стабилизаторов тока и напряжения, эффективных усилителей, мощных генераторов электромагнитного излучения, сильноточных ускорителей заряженных частиц, и др.

Рекомендуемая литература:

основная: [1-13];

дополнительная: [1-10].

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Основные представления об элементарных процессах. Сечение реакций, средняя длина пробега, средняя энергия и температура. Единицы измерения этих величин.
2. Положения теории Ленгмюра для электрического зонда. Общий вид зондовой вольтамперной характеристики. Электронная часть характеристики при отрицательном и положительном потенциале зонда. Ионная часть характеристики.
3. Физическая кинетика плазмы. Функция распределения и фазовое пространство. Уравнения Больцмана и Власова.
4. Виды дуг: дуга с горячим термоэмиссионным катодом, дуги с внешним накалом катода, дуги с "холодным" катодом и катодными пятнами, вакуумная дуга, дуга высокого давления, дуга сверхвысокого давления, дуги низкого давления.
5. Макроскопические свойства плазмы. Квазинейтральность плазмы. Электростатическое экранирование. Дебаевский радиус экранирования; частота плазменных колебаний. Плазма как сплошная среда.
6. Перспективы повышения энергетических характеристик кнудсеновского термоэмиссионного преобразователя за счет использования многополостного катода в газокинетическом режиме.

7. Колебания и волны в холодной плазме. Генерация волн при взаимодействии пучков заряженных частиц с плазмой. Затухание Ландау.
8. Зондовый метод для диагностики сильнонеравновесной анизотропной плазмы. Восстановление угловых и энергетических зависимостей полной функции распределения электронов по скоростям.
9. Двужидкостная модель плазмы. Обобщенный закон Ома для плазмы. Проводимость плазмы; тензор сопротивления и тензор проводимости. Кулоновские столкновения, сечение кулоновских столкновений, кулоновский логарифм.
10. Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Диффузия электронов в плазме при наличии электрического и магнитного полей. Амбиполярная и свободная диффузия.
11. Физические принципы перехода кнудсеновской дуги в нестационарный режим. Явление самопроизвольного обрыва тока и его применения для управления током в плазменной энергетике.
12. Самостоятельный разряд. Пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном однородном поле. Зависимость тока разряда во времени. Потенциал зажигания.
13. Особенности применения зондов различной геометрии в максвелловской и анизотропной плазме.
14. Интеграл электрон-атомных столкновений в аксиально-симметричной плазме и его экспериментальное определение.
15. Взаимодействие плазмы с поверхностью. Коэффициент отражения низкоэнергетичных электронов и его измерение с помощью магнитного поля.
16. Методы контроля и борьбы с плазменными неустойчивостями в приборах плазменной энергетике.
17. Тлеющий разряд. Распределение параметров по длине разрядного промежутка. ВАХ тлеющего разряда. Определение условий зажигания тлеющего разряда и его поддержание.
18. Использование зондов для исследования гетерогенных процессов в плазме.
19. Условия образования двойных слоев в прикатодной плазме и принципы магнитной диагностики.
20. Атомные и поверхностные явления в плазме. Упругое рассеяние, перезарядка, возбуждение, ионизация, рекомбинация и захват электрона.

ЛИТЕРАТУРА КО ВСЕМ ТЕМАМ

Основная:

1. Жданов, Владимир Михайлович. Процессы переноса в многокомпонентной плазме В.М. Жданов - М. : Издательство "Физматлит", 2009. - 280 с. <https://e.lanbook.com/book/2374>
2. Зимин, Александр Михайлович. Управление в плазменных установках / Зимин А.М. - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 85 с. <https://e.lanbook.com/book/52489>
3. Чирков, Алексей Юрьевич. Введение в физику плазмы: учебное пособие по курсу «физика плазмы» / А.Ю. Чирков - М. : МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2005. - 50 с. <https://e.lanbook.com/book/62000>
4. Очкин, Владимир Николаевич. Спектроскопия низкотемпературной плазмы / В.Н. Очкин - изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Издательство "Физматлит", 2010. - 592 с. <https://e.lanbook.com/book/2273>
5. Алхасов, Алибек Басирович. Возобновляемая энергетика / А.Б. Алхасов - М. : Издательство "Физматлит", 2010. - 256 с. <https://e.lanbook.com/book/5256>
6. Фортов, Владимир Евгеньевич. Энциклопедия низкотемпературной плазмы / под ред. В.Е. Фортова - М. : Издательство "Физматлит", 2004. - 539 с. <https://e.lanbook.com/book/2678>
7. Фортов, Владимир Евгеньевич. Физика неидеальной плазмы / В.Е. Фортов, А.Г. Храпак, И.Т. Якубов. - М. : Издательство "Физматлит". 2010. - 528 с. <https://e.lanbook.com/book/59584>
8. Тимофеев, Александр Владимирович. Резонансные явления в колебаниях плазмы / А.В. Тимофеев. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Издательство "Физматлит". 2009. - 296 с.

9. Мармер Эдуард Никитович. Материалы для высокотемпературных вакуумных установок / Э.Н. Мармер - М. : Издательство "Физматлит", 2007. - 152 с.
<https://e.lanbook.com/book/2694>
10. Клименко, Георгий Константинович. Генераторы плазмы / Г.К. Клименко, А.А. Ляпин - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 62 с. <https://e.lanbook.com/book/52477>
11. Магунов, Александр Николаевич. Теплообмен неравновесной плазмы с поверхностью / А.Н. Магунов. - М. : Издательство "Физматлит". 2005. - 312 с.
<https://e.lanbook.com/book/59394>
12. Кузенов, Виктор Витальевич. Численное моделирование разреженной плазмы / В.В. Кузенов, С.В. Рыжков.- М.:МГТУ им. Баумана. 2016. - 107 с. <https://e.lanbook.com/book/103637>
13. Котельников, Игорь Александрович. Лекции по физике плазмы / И.А. Котельников - 3-е изд. - М.:Издательство "Лаборатория знаний". 2017. - 387 с. <https://e.lanbook.com/book/94109>

Дополнительная:

1. Смирнов, Борис Михайлович. Физика атома и иона / Б.М.Смирнов. - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 215 с.
2. Райзер, Юрий Петрович. Физика газового разряда / Ю.П.Райзер. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 591 с.
3. Зельдович, Яков Борисович. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. - Изд. 2-е, доп. - М. : Наука. 1966. - 686 с.
4. Кадомцев, Борис Борисович. Коллективные явления в плазме / Б.Б.Кадомцев. - изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 303 с.
5. Александров, Александр Фёдорович. Основы электродинамики плазмы : учеб. для ун-тов / А.Ф.Александров, Л.С.Богданкевич, А.А.Рухадзе (ред.). - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1988. - 424 с.
6. Ферми, Э. Квантовая механика Notes on Quantum Mechanics : (конспект лекций) / Э. Ферми. - М. : Мир, 1968. - 367 с.
7. Франк-Каменецкий, Д. А. Лекции по физике плазмы: учеб. пособие для вузов / Д. А. Франк-Каменецкий. - Изд. 2-е. - М. :Атомиздат, 1968. - 285 с.
8. Чен, Ф. Введение в физику плазмы: монография / Ф. Чен ; пер. с англ. Е. Н. Кручины под ред. В. И. Шевченко. - М. : Мир, 1987. - 398 с.
90. Эллиот Дж. Симметрия в физике: в 2 т. / Дж. Эллиот, П. Добер ; пер. с англ. И. С. Желудева, Д. А. Славнова. - М. : Мир, 1983. Т. 1 : Основные принципы и простые приложения. - 364 с.
10. Эллиот Дж. Симметрия в физике: в 2 т. / Дж. Эллиот, П. Добер ; пер. с англ. И. С. Желудева, Д. А. Славнова. - М. : Мир, 1983. Т. 2 : Дальнейшие приложения. - 410 с.