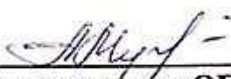


**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



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

**УТВЕРЖДАЮ**

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ТЕРМОЭМИССИОННАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА И  
НАНОТЕХНОЛОГИИ**

<b>Уровень высшего образования:</b>	Подготовка кадров высшей квалификации
<b>Направление подготовки:</b>	03.06.01 Физика и астрономия
<b>Направленность (профиль):</b>	Физика плазмы
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Нормативный срок обучения:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	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 «Термоэмиссионная плазменная энергетика и нанотехнологии»

Примерный перечень вопросов для самопроверки

Литература ко всем темам

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы дисциплины «Термоэмиссионная плазменная энергетика и нанотехнологии» и предназначены для самостоятельного изучения обучающимися.

Целью практических занятий является ознакомление аспирантов с ключевыми проблемами научного характера в сфере физики термоэмиссионного преобразования энергии и принципов работы термоэмиссионных плазменных приборов.

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 термоэмиссионной плазменной энергетике и нанотехнологий. 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, лежащих в основе термоэмиссионного преобразования тепловой энергии в электрическую, физике и принципах работы термоэмиссионных плазменных приборов, а также процессах, протекающих на наноуровне в их плазменной среде.

Согласно рабочей программе дисциплины «Термоэмиссионная плазменная энергетика и нанотехнологии» 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 – дифференцированный зачет, 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 «ТЕРМОЭМИССИОННАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА И НАНОТЕХНОЛОГИИ»**

## **Тема 1. Термоэмиссионный метод преобразования тепловой энергии в электрическую. Приборы плазменной энергетики**

### ***Цели и задачи занятия:***

Изучение темы начинается со знакомства с современными достижениями и проблемами в области термоэмиссионной плазменной энергетики. Далее последовательно рассматриваются плазменный кнудсеновский термоэмиссионный преобразователь тепловой энергии в электрическую; электрокинетические параметры анизотропной плазмы Cs-Va термоэмиссионного преобразователя (ТЭП) в режиме с поверхностной ионизацией; распределение потенциала в области перехода из перекомпенсированного режима в недокомпенсированный; метод обобщенной вольт-амперной характеристики для оптимизации мощности ТЭП; предельно достижимые энергетические параметры и КПД кнудсеновского ТЭП с плоским катодом; управляемый Cs-Va ключевой элемент на высокие плотности тока, плазменные стабилизаторы на базе нелокальной плазмы инертных газов.

### ***Темы практических занятий (семинаров)***

1. Физические принципы преобразования тепловой энергии в электрическую.
2. Метод обобщенной вольтамперной характеристики для оптимизации мощности ТЭП.
3. Кинетика процессов полного сеточного управления в стационарном режиме кнудсеновской дуги сильноточного ключевого элемента.
4. Связь эффективности сеточного гашения с нелинейными колебаниями в кнудсеновской плазме.

### ***Учебные вопросы по самостоятельной работе:***

1. Физические принципы перехода кнудсеновской дуги в нестационарный режим.
2. Распределение потенциала в области перехода из перекомпенсированного режима в недокомпенсированный.
3. Особенности газовых разрядов в парах щелочных металлов и инертных газах. Их принципиальные отличия.
4. Роль сужений в плазменном канале для управления свойствами плазмы и энергетическими характеристиками термоэмиссионных плазменных приборов.

### ***Темы устных докладов, сообщений***

1. Влияние геометрии катода на энергетические характеристики кнудсеновского термоэмиссионного преобразователя.
2. Перспективные конструкции и преимущества плазменных ключевых элементов с цезий-бариевым наполнением.
3. Эффективные плазменные стабилизаторы с отрицательным сопротивлением на базе плазмы инертных газов.

### ***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 немаловажно без широкого исследования плазмы низковольтного разряда в парах щелочных металлов и в инертных газах, существование которого известно давно, но до настоящего времени он недостаточно изучен.

В отличие от низковольтных разрядов в парах щелочных металлов изучение аналогичного разряда в инертных газах началось относительно недавно и еще далеко от завершения. Для низковольтных разрядов в инертных газах с высокими потенциалами возбуждения и ионизации (в гелии  $E_{ion} \approx 24,6$  эВ) практически всегда характерно наличие в зазоре несрелаксировавшего по энергии плотного пучка быстрых электронов. Ионизация в таких разрядах осуществляется быстрыми электронами пучка, а не тепловыми электронами, как это обычно происходит в парах щелочных металлов. Кроме того, небольшое (по сравнению со щелочными металлами) значение транспортного сечения упругих столкновений тепловых электронов плазмы с атомами приводит к наибольшему отклонению распределения электронов от максвелловского по сравнению с плазмой других газов и паров металлов и малому декременту столкновительного затухания ленгмюровских волн. Естественно, что в рассмотренных условиях вопрос нелокальности функции распределения приобретает особое значение.

Таким образом, при рассмотрении темы необходимо принимать во внимание небольшие межэлектродные расстояния, анизотропные функции распределения электронов, сильные электрические поля и многообразие плазменных процессов.

#### ***Рекомендуемая литература:***

основная: [1-13];

дополнительная: [1-10].

## **Тема 2. Плазменные нанотехнологии в термоэмиссионной плазменной энергетике**

### ***Цели и задачи занятия:***

Изучение современных достижений и проблем в области плазменных нанотехнологий для исследования электродных материалов. Физические модели управляемого снижения работы выхода анода термоэмиссионных преобразователей за счет плазменной модификации поверхности наноструктурами. Элементный состав поверхности коллектора после экспозиции в лабораторном макете преобразователя с цезиевым наполнением. Оптимизация энергетических характеристик и конструкций термоэмиссионного преобразователя энергии с цезиевым наполнением. Магнитный метод одновременного исследования параметров анизотропной плазмы, синтезированной на поверхности катода, и эмиссионных характеристик поверхности, находящейся в контакте с сильно ионизированной плазмой.

### ***Темы практических занятий (семинаров)***

1. Идеальный кнудсеновский Cs-Va диод с поверхностной ионизацией.
2. Параметры приэлектродной плазмы и эмиссионные характеристики катодов.
3. Коэффициент отражения тепловых электронов от поверхности и эмиссионная неоднородность катодов.
4. Физические модели управляемого снижения работы выхода анода термоэмиссионных преобразователей за счет плазменной модификации поверхности наноструктурами.

### ***Учебные вопросы по самостоятельной работе:***

1. Распределение параметров в плазме термоэмиссионных приборов плазменной энергетики.
2. Классификация неустойчивостей, возникающих в неравновесной плазме термоэмиссионных приборов.



3. Вольтамперные характеристики термоэмиссионных приборов, их анализ и интерпретация.
4. Структура плазмы в приэлектродных областях и ее особая роль в оптимизации электрокинетических характеристик плазменных приборов.

#### **Темы устных докладов, сообщений**

1. Методы исследования плазмы с поверхностной ионизацией.
2. Пути снижения работы выхода электродных материалов термоэмиссионных приборов.
3. Взаимодействие плазмы с поверхностью электродов.

#### **Методические указания:**

Развитие исследований в области прямого преобразования тепловой энергии в электрическую и оценки перспективных методов преобразования все с большей очевидностью указывают на важность проблемы повышения коэффициента полезного действия. В термоэмиссионном методе преобразования эта проблема становится особенно актуальной для «ТЭП 2-го и 3-го поколений», для создания которых необходимо, во-первых, понизить работу выхода анода, и, во-вторых, уменьшить падение потенциала в плазме. Для идеального кнудсеновского ТЭП коэффициент полезного действия | практически совпадает с КПД цикла Карно:  $|\eta_{\text{Карно}} = (T_{\text{к}} - T_{\text{а}})/T_{\text{к}} = (\phi_{\text{к}} - \phi_{\text{а}})/\phi_{\text{к}}$ ; здесь  $T_{\text{к}}$ ,  $T_{\text{а}}$ ,  $\phi_{\text{к}}$ ,  $\phi_{\text{а}}$  – температуры и работы выхода катода и анода. Отсюда следует, что понижение  $\phi_{\text{а}}$  (и, как следствие, необходимость понижения  $T_{\text{а}}$ ) при фиксированном значении  $\phi_{\text{к}}$  приводит к повышению  $|\eta_{\text{Карно}}$ .

В этой ситуации важным является стремление понизить работу выхода электронов (РВЭ) материала коллектора, поскольку хорошо известно, что э.д.с., развиваемая ТЭП, в основном определяется работой выхода электронов (РВЭ) материала эмиттера, а потери выходного напряжения – РВЭ материала коллектора, а также плазменными потерями напряжения на межэлектродном зазоре. Повышение эффективности ТЭП, в основном, возможно только за счет уменьшения эффективной РВЭ коллектора. Вместе с тем, известно, что при работе в условиях плазменных сред на поверхности коллектора могут образовываться наноструктуры различного характера, что выводит вопрос их практического применения для повышения эффективности ТЭП на первый план.

Кроме того, исследования бесстолкновительной низкотемпературной плазмы термоэмиссионных плазменных приборов показывают, что ей присуща сильная неравновесность функции распределения заряженных частиц и потенциала плазмы. Эти результаты представляют интерес не только для проблемы термоэмиссионного преобразования энергии. Подобные явления могут иметь место и в высокотемпературной термоядерной плазме, в которой характерные масштабы перепадов потенциала и энергий частиц заметно возрастают с температурой плазмы.

#### **Рекомендуемая литература:**

основная: [1-13];

дополнительная: [1-10].

### **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Особенности газовых разрядов в парах щелочных металлов и инертных газах. Их принципиальные отличия.
2. Влияние геометрии катода на энергетические характеристики кнудсеновского термоэмиссионного преобразователя.
3. Роль сужений в плазменном канале для управления свойствами плазмы и энергетическими характеристиками термоэмиссионных плазменных приборов.
4. Перспективные конструкции и преимущества плазменных ключевых элементов с цезий-бариевым наполнением.

5. Неустойчивости в неравновесной плазме, их влияние на эксплуатацию приборов плазменной энергетики и перспективы использования для оптимизации их электрокинетических параметров и конструкций.
6. Формирование двойных слоев в приэлектродной плазме и их влияние на энергетические параметры термоэмиссионных приборов плазменной энергетики.
7. Параметры приэлектродной плазмы и эмиссионные характеристики катодов термоэмиссионных приборов.
8. Взаимодействие плазмы с поверхностью. Коэффициент отражения тепловых электронов от поверхности и эмиссионная неоднородность катодов.
9. Основы магнитной диагностики приэлектродной плазмы термоэмиссионных приборов.
10. Физические принципы управляемого снижения работы выхода электродных материалов термоэмиссионных преобразователей за счет плазменной модификации поверхности графеновыми наноструктурами.
11. Модели формирования наноструктур на поверхности электродов цезий-бариевых термоэмиссионных преобразователей.
12. Влияние режимов работы ТЭП на динамику формирования и интеркаляции графеновых наноструктур.

## 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.