

**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 программы  
аспирантуры  
профессор А.С. Мустафаев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В АКСИАЛЬНО-  
СИММЕТРИЧНОЙ ПЛАЗМЕ**

**Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

<b>Область науки:</b>	1. Естественные науки
<b>Группа научных специальностей:</b>	1.3. Физические науки
<b>Научная специальность:</b>	1.3.9. Физика плазмы
<b>Направленность (профиль):</b>	Плазменные нанотехнологии в энергетике и материаловедении
<b>Отрасли науки:</b>	Физико-математические
<b>Форма освоения программы аспирантуры:</b>	Очная
<b>Срок освоения программы аспирантуры:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	 д.ф.-м.н., профессор А.С. Мустафаев

Санкт-Петербург

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 «Функция распределения заряженных частиц в аксиально-симметричной плазме»

Примерный перечень вопросов для самопроверки

Литература ко всем темам

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы дисциплины «Функция распределения заряженных частиц в аксиально-симметричной плазме» и предназначены для самостоятельного изучения обучающимися.

Целью практических занятий является ознакомление аспирантов с ключевыми проблемами научного характера в сфере современных методов диагностики аксиально-симметричных плазменных объектов.

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 исследования аксиально-симметричных плазменных объектов. 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 об основах физической кинетики аксиально-симметричной плазмы, формировании и структуре функции распределения заряженных частиц в плазме различного типа, параметрах плазмы, связанных с функцией распределения, а также особенностях диагностики аксиально-симметричной плазмы.

Согласно рабочей программе дисциплины «Функция распределения заряженных частиц в аксиально-симметричной плазме» 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 «ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ ПЛАЗМЕ»**

**Тема 1. Функция распределения заряженных частиц как основная кинетическая характеристика аксиально-симметричной плазмы. Представление функции распределения**

***Цели и задачи занятия:***

Изучение разделов, формирующих основу кинетического подхода к описанию плазменных процессов. Дебаевский радиус экранирования. Функция распределения (ФР). Фазовое пространство. Моменты функции распределения. Описание плазменных процессов при помощи функции распределения по скоростям. Локальная и нелокальная ФР во внешнем электрическом поле. Представление ФР в аксиально-симметричной анизотропной плазме. Разложение ФР по полиномам Лежандра. Основы зондового метода реконструкции полной ФР заряженных частиц в аксиально-симметричной плазме. Методика реконструкции угловых гармоник распределения. Восстановление полной функции распределения. Полярные диаграммы направленного движения электронов. Анизотропные функции распределения электронов и ионов.

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

1. Геометрия задачи в аксиально-симметричной плазме. Разложение ФР в ряд по полиномам Лежандра.
2. Расчет базовых параметров плазмы с использованием лежандровых компонент ФР.
3. Методика реконструкции угловых гармоник распределения.
4. Метод полярных диаграмм для исследования направленного движения заряженных частиц в плазме.

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

1. Влияние функции распределения заряженных частиц на протекание плазменных электрокинетических процессов.
2. Способы представления ФР в аксиально-симметричной плазме. Упрощающие предположения.
3. Физический смысл лежандровых компонент функции распределения и их роль в описании кинетических процессов.

***Темы устных докладов, сообщений***

1. Аксиальная симметрия плазмы с точки зрения зондовых методов диагностики.
2. Особенности применения зондового метода при диагностике аксиально-симметричных плазменных объектов.

3. Источники анизотропии функции распределения электронов и ионов в плазме с осевой симметрией.

**Методические указания:**

Газоразрядные объекты с осевой симметрией традиционно занимают особое место в практике плазменных исследований. Такой тип симметрии часто встречается до сегодняшнего дня. Впервые исследовать угловую структуру ФР в аксиально-симметричной анизотропной плазме удалось, когда был разработан и математически обоснован метод плоского одностороннего зонда. Особенность метода состоит в том, что функция распределения представляется в виде ряда по полиномам Лежандра, а измерения значений второй производной зондового тока по потенциалу производятся при различных ориентациях зонда относительно оси разряда. Расчет полной ФР осуществляется путем решения интегрального уравнения Вольтерра II рода, связывающего лежандровы компоненты ФРЭС и второй производной зондового тока по потенциалу зонда. Изучение особенностей формирования и диагностики ФР с осевой симметрией создадут методическую основу для дальнейшего рассмотрения асимметричных плазменных объектов.

**Рекомендуемая литература:**

основная: [1-5];

дополнительная: [6-10].

**Тема 2. Структура функции распределения заряженных частиц в аксиально-симметричной плазме газовых разрядов различного типа**

**Цели и задачи занятия:**

Изучение структуры распределения заряженных частиц в плазме положительного столба электрического разряда низкого давления в гелии. Энергетические зависимости угловых гармоник функции распределения электронов, дрейфовая скорость электронов разных энергий. Энергетические зависимости лежандровых компонент интеграла столкновений. Энергетическая зависимость транспортного сечения упругого рассеяния электронов на атомах гелия. Низковольтный пучковый разряд (НПР) в гелии как модель анизотропной приэлектродной плазмы с объемной ионизацией. Структура функции распределения в плазме НПР. Источники неравновесности и анизотропии распределения заряженных частиц. Пространственное распределение параметров анизотропной плазмы НПР. Роль электронов пучка в процессах возбуждения, ионизации и токопереноса. Кнудсеновский и столкновительный режим разряда.

**Темы практических занятий (семинаров)**

1. Расчет локальной и нелокальной функции распределения электронов.
2. Определение энергетической зависимости транспортного сечения электрон-атомных столкновений и расчет температуры нейтрального компонента плазмы.
3. Формирование сильнонеравновесной функции распределения электронов в плазме гелиевого НПР.
4. Анизотропная функция распределения ионов и ее расчет.

**Учебные вопросы по самостоятельной работе:**

1. Особенности кинетического описания плазмы с различной степенью анизотропии с помощью набора лежандровых компонент ФР.
2. Методические особенности расчета локальной и нелокальной ФР в плазме положительного столба тлеющего разряда в гелии.
3. Тлеющий разряд в гелии. Распределение параметров по длине разрядного промежутка.
4. Обоснование целесообразности разложения ФР в ряд по полиномам Лежандра.

**Темы устных докладов, сообщений**

1. Структура ФР и пространственное распределение параметров в плазме положительного столба тлеющего разряда в гелии.
2. Структура ФР и пространственное распределение параметров в плазме гелиевого НПР.
3. Возможности определения параметров плазмы положительного столба (конвективная скорость электронов, транспортное сечение электрон-атомных столкновений, и др.) на основе данных о лежандровых компонентах ФР электронов.



### **Методические указания:**

Всякий реальный плазменный объект пространственно ограничен, причем условия на границах приводят к оттоку частиц из плазмы, что также сказывается на локальном направлении оси симметрии. Аксиально-симметричная плазма реализуется в положительном столбе электрического разряда с осью симметрии, совпадающей в первом приближении с локальным направлением напряженности электрического поля. В пучковой плазме осью симметрии будет преимущественное направление движения частиц и т.д. Таким образом, аксиально-симметричное описание учитывает некоторые важные особенности плазмы и это описание можно рассматривать как следующее приближение после сферически-симметричного. В настоящем разделе рассматриваются возможности зондового метода при исследованиях анизотропной плазмы с осевой симметрией. Наибольшее внимание здесь следует уделить определению функции распределения электронов по скоростям как основной зависимости, определяющей многие важные параметры плазмы.

### **Рекомендуемая литература:**

основная: [1-5];

дополнительная: [6-10].

## **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Физическая кинетика плазмы. Функция распределения и фазовое пространство. Представление функции распределения.
2. Восстановление угловых и энергетических зависимостей полной функции распределения электронов по скоростям.
3. Особенности применения зондового метода при диагностике аксиально-симметричных плазменных объектов.
4. Обоснование целесообразности разложения ФР в ряд по полиномам Лежандра.
5. Роль лежандровых компонент ФР в формировании базовых параметров аксиально-симметричной плазмы.
6. Тлеющий разряд в гелии. Распределение параметров по длине разрядного промежутка. Структура ФР в максвелловской плазме. Приближение Лоренца.
7. Методические особенности расчета локальной и нелокальной ФР в плазме положительного столба тлеющего разряда в гелии.
8. Возможности определения параметров плазмы положительного столба (конвективная скорость электронов, транспортное сечение электрон-атомных столкновений, и др.) на основе данных о лежандровых компонентах ФР электронов.
9. Короткий низковольтный пучковый разряд как пример сильнонеравновесной анизотропной плазмы. Особенности формирования распределения заряженных частиц по скоростям.
10. Структура ФР и пространственное распределение параметров в плазме НПР. Применение полярных диаграмм для анализа структуры особенностей распределения заряженных частиц.
11. Особенности формирования анизотропных функций распределения ионов в аксиально-симметричной плазме.

## **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.
9. 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.