

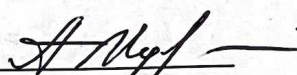
**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**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 ПЛАЗМЕ С  
ПРОИЗВОЛЬНОЙ СИММЕТРИЕЙ**

**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 плазме с произвольной симметрией»

Примерный перечень вопросов для самопроверки

Литература ко всем темам

## **ВВЕДЕНИЕ**

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

Целью практических занятий является ознакомление аспирантов с ключевыми проблемами научного характера в сфере изучения и диагностики параметров асимметричной 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 изучения и диагностики параметров асимметричной 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 об основах физической кинетики плазмы, структуре функции распределения заряженных частиц и параметрах плазмы с произвольной симметрией, а также особенностях диагностики плазмы такого типа.

Согласно рабочей программе дисциплины «Функция распределения заряженных частиц в плазме с произвольной симметрией» 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**

Практические занятия не предусмотрены учебным планом.

### **СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ СИММЕТРИЕЙ»**

**Тема 1. Функция распределения заряженных частиц как основная кинетическая характеристика плазмы с произвольной симметрией. Представление функции распределения**  
**Цели и задачи занятия:**

Рассмотрение плазмы без предположения симметрии. Функция распределения (ФР). Фазовое пространство. Моменты функции распределения. Описание плазменных процессов при помощи функции распределения по скоростям. Представление ФР в плазме без предположения симметрии. Разложение ФР в ряд по полиномам Лежандра. Физический смысл лежандровых компонент ФР. Оценка необходимого количества членов ряда в произвольных условиях. Расчет базовых параметров плазмы с использованием лежандровых компонент ФР. Восстановление полной функции распределения в асимметричной плазме. Основы зондового метода реконструкции полной ФР заряженных частиц в плазме с произвольной симметрией. Геометрия задачи. Методика реконструкции угловых гармоник распределения. Восстановление полной функции распределения. Полярные диаграммы направленного движения электронов.

**Учебные вопросы по самостоятельной работе:**

1. Физический смысл лежандровых компонент функции распределения и их роль в описании кинетических процессов.
2. Представление функции распределения в плазме без предположения симметрии.
3. Способы снижения погрешности методов восстановления полной ФР при диагностике плазмы с произвольной симметрией.

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

1. Влияние функции распределения заряженных частиц на протекание плазменных электрокинетических процессов.
2. Произвольная симметрия плазмы с точки зрения зондовых методов диагностики.
3. Методы выбора оптимального количества определяемых компонент разложения ФР.

#### **Методические указания:**

Зондовый метод диагностики является одним из основных инструментов исследования низкотемпературной плазмы. Большинство сведений об ее электронной компоненте к настоящему времени получено именно зондовым методом. Вместе с тем, современные зондовые методы исследования анизотропных функций распределения электронов и ионов, которые и определяют большинство физических свойств газового разряда, обладают рядом принципиальных недостатков. Основным из них является, невозможность исследовать плазменные объекты, не обладающие осевой симметрией. Таким образом, для решения современных проблем физики плазмы необходимы новые надежные методы диагностики, позволяющие регистрировать ФР заряженных частиц с угловым разрешением вблизи границ плазменного объема, измерять радиальные профили электрического поля, пристеночные скачки потенциала, концентрацию электронов в асимметричной плазме и т.д.

#### **Рекомендуемая литература:**

основная: [1-13];

дополнительная: [1-10].

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

1. Физическая кинетика плазмы. Функция распределения и фазовое пространство. Представление функции распределения в плазме с произвольной симметрией.
2. Восстановление угловых и энергетических зависимостей полной функции распределения заряженных частиц по скоростям в плазме с произвольной симметрией.
3. Особенности применения зондового метода при диагностике асимметричных плазменных объектов.
4. Источники анизотропии функции распределения электронов и ионов в плазме с произвольной симметрией.
5. Обоснование целесообразности разложения ФР в ряд по полиномам Лежандра и выбора необходимого количества членов ряда.
6. Роль лежандровых компонент ФР в формировании базовых параметров плазмы с произвольной симметрией.

### **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.