

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«Физика плазмы»**

Составная часть  
ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ -  
программы подготовки научных и научно-педагогических кадров  
в аспирантуре

Научные специальности

#### **1.1.9. МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Содержание дисциплины.
5. Учебно-тематический план занятий.
6. Формы текущего контроля, критерии оценки.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

### 1. ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СПОСОБ И ФОРМЫ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ, ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия – 27 часов, самостоятельная работа – 92 часа, зачет - 1 час, всего – 120 часов.

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары и консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является зачет.

### 2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

В результате освоения дисциплины выпускник должен

***Знать:***

- основные характеристики и параметры плазмы, физические процессы в плазме, определяющие ее свойства
- современное состояние науки в области физики плазмы; современные подходы к моделированию различных явлений в области физики плазмы и оценке полученных результатов.

***Владеть:***

- навыками проведения научных исследований в области физики плазмы с учетом характеристик и возможностей современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.



***Уметь:***

самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики плазмы и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий; представлять результаты научно-исследовательской деятельности

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Физика плазмы» является элективной и/или факультативной дисциплиной и включена в Блок «Образовательная компонента» основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов теоретической механики, механики сплошных сред, математической физики в рамках магистерской программы образования или специалитета. Владением данными знаниями и умениями устанавливается в ходе вступительных испытаний в аспирантуру.

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Термодинамика плазмы. Основные параметры термодинамической системы. Квазинейтральность плазмы, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, корональное равновесие, снижение потенциала ионизации. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми-Дирака, модель Томаса-Ферми.
2. Элементарные процессы. Столкновения заряженных частиц, дальное действие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Упругие и неупругие соударения. Ионизация, возбуждение, рекомбинация и перезарядка. Формула Саха. Излучение плазмы. Фотохимия.
3. Физическая кинетика Описание электронной компоненты газоразрядной плазмы при помощи функции распределения. Постановка задачи. Кинетическое уравнение. Энергетический спектр электронов. «Локальное» и «нелокальное» рассмотрение.
4. Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля.
5. Магнитная гидродинамика плазмы Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, замороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение.
6. Волны в плазме. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме. Основные типы колебаний и волн в плазме: лэнгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионно-звуковые, магнитозвуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн. Колебания в холодной плазме. Распространение волн в плазме при наличии магнитного поля. Плазмоны. Метод малых колебаний. Пылевая плазма. Элементарные процессы в пылевой плазме. Колебания, волны и неустойчивости в пылевой плазме. Распространение электромагнитных волн в

неоднородной плазме, геометрическая оптика, плазменный резонанс, циклотронный резонанс, линейная трансформация. Основные нелинейные процессы взаимодействия волн, неустойчивость плазмы в сильном электромагнитном поле. Рассеяние и трансформация волн.

7. Электрический разряд в газах. Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда, излучающий разряд в плотной плазме, плазменно- пучковый разряд.

### 5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Аудиторные занятия	Самост. работа	Всего часов
1.	<b>Термодинамика плазмы</b> Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, корональное равновесие, снижение потенциала ионизации. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми—Дирака, модель Томаса—Ферми.	4	12	16
2.	<b>Элементарные процессы</b> • Столкновения заряженных частиц, дальное действие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом.	3	13	16
3.	<b>Физическая кинетика</b> Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений, время максвеллизации и скорость выравнивания температур различных компонент плазмы. Скорость ионообразования и рекомбинации электронов и ионов, образование и разрушение возбужденных атомов (ионов). Кинетика возбужденных молекул в плазме.	4	14	18
4.	<b>Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.</b> Движение в однородных магнитных полях. Адиабатический инвариант, магнитная ловушка. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового	3	13	16

	<p>движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Электрический дрейф. Дрейф в неоднородном магнитном поле. Движение заряженной частицы в скрещенных электрическом и магнитном полях.</p>			
5.	<p><b>Магнитная гидродинамика плазмы</b>          Магнитная гидродинамика как физическая дисциплина, возникшая на пересечении гидродинамики и электродинамики сплошной среды. динамика проводящей жидкости или газа в магнитном поле. Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, замороженность магнитного поля.          Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение. Уравнения магнитной гидродинамики. Равновесие плазмы в магнитном поле. Гидромагнитные неустойчивости. Гидромагнитные волны.</p>	4	13	17
6	<p><b>Волны в плазме. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме.</b> Основные типы колебаний и волн в плазме: лэнгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионно- звуковые, магнитозвуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн. Возбуждение и затухание волн в плазме, черенковское излучение, затухание Ландау. Раскачка плазменных колебаний пучками. Квазилинейное приближение. Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме, геометрическая оптика, плазменный резонанс, циклотронный резонанс, линейная трансформация. Основные нелинейные процессы взаимодействия волн, неустойчивость плазмы в сильном электромагнитном поле. Рассеяние и трансформация волн.</p>	5	14	19
7	<p><b><u>Электрический разряд в газах.</u></b></p>	4	13	17

	Условия возникновения электрического разряда в газах. Типы разрядов. Их характеристика и особенности. Способы ионизации газа. Низкотемпературная и высокотемпературная плазмы. Их характеристика. Самостоятельная и несамостоятельная виды плазмы в газах. Равновесная и неравновесная плазма. Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд.			
	Зачет	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>1</b>
<b>ИТОГО</b>		<b>28</b>	<b>92</b>	<b>120</b>

## 6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

**6.1. Итоговый контроль:** формой итогового контроля по дисциплине является Зачет.

Зачет включает обсуждение на основе презентации и краткого доклада обзора литературы по статьям за последние 5 лет в соответствии с темой научного исследования аспиранта.

### 6.2. Критерии оценки итогового контроля:

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок:
<b>зачтено</b>	Аспирант в целом владеет основными теориями и понимает их содержание, имеет общее представление о связи теории и практики в рамках излагаемого материала, владеет в целом необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, в достаточной мере владеет понятийным и терминологическим аппаратом, развернуто отвечает на дополнительные вопросы.
<b>не зачтено</b>	Аспирант демонстрирует слабое понимание связи теории и практики, не может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, имеет затруднения при решении некоторых задач. Обучающийся не демонстрирует уверенного владения понятийным и терминологическим аппаратом, имеет затруднения при ответе на дополнительные вопросы..

**При выборе аспирантом дисциплины «Физика плазмы» в качестве элективной, зачет по дисциплине является допуском к промежуточной аттестации – кандидатскому экзамену по специальной дисциплине.**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 7.1. Основная литература

1. Ю. П. Райзер. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992. 536 с.
2. А. А. Кудрявцев, А. С. Смирнов, Л. Д. Цендин. Физика тлеющего разряда. СПб.: Лань, 2010. 512 с.
3. Рожанский В.А. Теория плазмы. 1-е издание [Электронный ресурс] /В.А. Рожанский. - М.: изд-во 'Лань', 2012. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1233-4. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2769>
4. Голант В.Е. Основы физики плазмы [Электронный ресурс] /В.Е. Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. - М.:изд-во 'Лань', 2011. - 448 с. - ISBN 978-5-16-005711-8. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/1550>
5. Кудрявцев А.А. Физика тлеющего разряда [Электронный ресурс] /А.А. Кудрявцев, А.С. Смирнов, Л.Д. Цендин. - М.: изд-во 'Лань', 2010. - 512 с. - ISBN 978-5-8199-0576-0. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/552>
6. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику. М.: Физматлит, 2006, 572 с
7. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000.

### 7.2. Электронные ресурсы

1. Сборник научных трудов «Взаимодействие сильных электромагнитных волн с бесстолкновительной плазмой» под. ред. А.Г. Литвака, 1980 [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/emv.pdf>
2. Proceedings of the International Workshop Strong Microwaves in Plasmas, 2006, 2003, 2000, 1996, 1993, 1991. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/b1s.html>
3. Интернет-ресурсы: Physics of Plasmas <http://phys.org/journals/physics-of-plasmas/>

## 8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудиторные занятия, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче зачета и кандидатского экзамена проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки, лабораторные комнаты), оборудованных мебелью (столы, стулья), компьютерами с доступом к сети Интернет, демонстрационным оборудованием.