

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Полярный геофизический институт»
(ПГИ)**

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ПГИ
д.ф.-м.н. Б.В. Козелов



«03» октября 2016г.

Протокол Ученого совета
№ 6 от «30» сентября 2016 г.

**Рабочая программа по дисциплине
«Кинетическая теория газов и плазмы»**

подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлениям подготовки высшей квалификации

05.06.01 «Науки о земле»

(профиль 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы)

16.06.01 «Физико-технические науки и технологии»

(профиль 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, 01.04.03 - Радиофизика)

Квалификация (степень)

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

Очная, заочная

Апатиты
2016

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Кинетическая теория газов и плазмы» относится к вариативной части ООП (дисциплина по выбору) и осваивается в течение второго года очной и заочной аспирантуры по направлениям подготовки 05.06.01 «Науки о земле», направленности – 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы» и 16.06.01 «Физико-технические науки и технологии», направленности - 01.04.03 «Радиофизика» и 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы». Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные знания и позволяет аспиранту получить углубленные знания и навыки для успешной профессиональной деятельности.

Целями освоения дисциплины являются:

Формирование у аспирантов культуры научного мышления и способности самообучения, умения понять логическую схему изучаемого раздела физики и область его применимости; приобретение физической интуиции и понимания основных физических процессов, протекающих в газах и плазме; получение теоретических знаний в области кинетической теории газов и плазмы, достаточных для дальнейшей научной работы; ознакомление с примерами применения кинетической теории газов и плазмы для решения современных актуальных задач космической физики и получение навыков такого применения; изучения области применимости и основ существующих численных методов, которые широко используются при решении актуальных задач современной космической физики.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины «Кинетическая теория газов и плазмы» направлен на формирование следующих профессиональных компетенций:

ПК-1: способность к построению и исследованию физической и математической моделей в задачах физики околоземного пространства на основе глубоких знаний соответствующих разделов физики и используемого в них математического аппарата, а также методов вычислительной математики;

ПК-2: владение методологией и культурой научного исследования в области механики газа и плазмы, в том числе с использованием математического моделирования.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых 80 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 44 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 10 часов мероприятия промежуточной аттестации (экзамен)).

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Тема 1.1. Общий вид системы уравнений газовой динамики. Задачи, которые ставились перед кинетической теорией газов. Основные понятия. Задача N одинаковых тел с потенциальным парным взаимодействием. Функции распределения от N -частичной до 1-частичной и определение гидродинамических величин. Цепочка уравнений Н.Н. Боголюбова и формализм вывода из неё кинетического уравнения Больцмана. Физический вывод уравнения Больцмана. Основные формы потенциала парного взаимодействия.	6	3	0			3	3
Тема 1.2. Основные свойства интеграла столкновений Больцмана. Законы сохранения и H -теорема для уравнения Больцмана. Единственность H -функции. Распределения Максвелла и локально максвелловское. Распределение Максвелла-Больцмана в потенциальном внешнем поле.	14	4	4			8	6
Тема 1.3. Система уравнений Больцмана для смеси газов. Вывод уравнений газовой динамики из уравнения Больцмана. Метод Чэпмена-Энскога.	12	4	2			6	6
Тема 1.4. Интеграл столкновений Энскога для плотного газа. Некоторые модельные интегралы столкновений. Интеграл столкновений Ландау-Фоккера-Планка в случае слабых столкновений. Уравнение Ландау-Фоккера-Планка в дивергентной форме.	6	2	0			2	4
Тема 1.5. Постановка задачи Коши и начально-краевой (смешанной) задачи для уравнения Больцмана. Обзор основных численных методов его решения.	10	3	4			7	3
Тема 2.1. Понятие коллективного взаимодействия в системе N одинаковых тел. Уравнения типа Власова. Вывод уравнения Власова из цепочки уравнений Боголюбова. Система уравнений Власова-Максвелла для бесстолкновительной полностью ионизированной плазмы. Система уравнений Больцмана-Власова-	8	4	0			4	4

Максвелла для столкновительной и либо полностью, либо частично ионизированной плазмы.							
Тема 2.2. Гамильтонова формулировка системы уравнений движения заряда в электромагнитном поле. Система Власова-Максвелла в гамильтоновых переменных. Основные свойства системы Власова-Максвелла. Энергетическая подстановка. Дебаевское экранирование и радиус Дебая. Плазменные колебания. Задача с конечным числом частиц и гидродинамическая подстановка.	12	3	6			9	3
Тема 2.3. Постановка задачи Коши и начально-краевой (смешанной) задачи для системы Власова-Максвелла. Разложение электрического поля на потенциальную и соленоидальную части. Переформулировка системы Власова-Максвелла. Система Власова-Дарвина и ее эллиптическая переформулировка. Система Власова-Пуассона.	12	2	4			6	6
Тема 2.4. Точные решения задачи Коши для системы уравнений движения заряда (системы Ньютона-Лоренца) в случае постоянных полей в классическом пределе и в релятивистском случае. Асимптотический метод осреднения для «двухмасштабных» задач. Замагниченная частица и три варианта дрейфовой системы уравнений движения ведущего центра.	18	3	8			11	7
Тема 2.5. Кинетическое уравнение для замагниченной компоненты в дрейфовом приближении и вывод для этой компоненты системы гидродинамических уравнений. Система уравнений Чу-Гольдбергера-Лоу в многожидкостном и одножидкостном приближениях. Осреднение системы уравнений Чу-Гольдбергера-Лоу для электронов по плазменным колебаниям. Гибридное описание плазмы с замагниченными электронами: уравнение Власова для ионов и равновесие вдоль силовых магнитных линий для электронов в рамках системы уравнений ЧГЛ.	12	2	4			6	6
Тема 2.6. Некоторые точные решения стационарных задач. Токовый слой Харриса.	12	3	6			9	3
Тема 2.7. Обзор основных численных методов решения системы уравнений Власова-Максвелла.	12	3	6			9	3
Промежуточная аттестация экзамен	10						
Итого	144/72	36/18	44/22			80/40	54/27

Текущий контроль успеваемости осуществляется в рамках занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

Содержание дисциплины «Кинетическая теория газов и плазмы»

Раздел 1. Кинетическая теория газов.

Тема 1.1. Общий вид системы уравнений газовой динамики. Задачи, которые ставились перед кинетической теорией газов. Основные понятия. Задача N одинаковых тел с потенциальным парным взаимодействием. Функции распределения от N -частичной до 1-частичной и определение гидродинамических величин. Цепочка уравнений Н.Н. Боголюбова (старшего) и формализм вывода из неё кинетического уравнения Больцмана. Физический вывод уравнения Больцмана. Основные формы потенциала парного взаимодействия.

Тема 1.2. Основные свойства интеграла столкновений Больцмана. Законы сохранения и H -теорема для уравнения Больцмана. Единственность H -функции. Распределения Максвелла и локально максвелловское. Распределение Максвелла-Больцмана в потенциальном внешнем поле.

Тема 1.3. Система уравнений Больцмана для смеси газов. Вывод уравнений газовой динамики из уравнения Больцмана. Метод Чэпмена-Энскога.

Тема 1.4. Интеграл столкновений Энскога для плотного газа. Некоторые модельные интегралы столкновений. Интеграл столкновений Ландау-Фоккера-Планка в случае слабых столкновений. Уравнение Ландау-Фоккера-Планка в дивергентной форме.

Тема 1.5. Постановка задачи Коши и начально-краевой (смешанной) задачи для уравнения Больцмана. Обзор основных численных методов его решения.

Раздел 2. Кинетическая теория плазмы.

Тема 2.1. Понятие коллективного взаимодействия в системе N одинаковых тел. Уравнения власовского типа. Вывод уравнения Власова из цепочки уравнений Боголюбова. Система уравнений Власова-Максвелла для бесстолкновительной полностью ионизированной плазмы. Система уравнений Больцмана-Власова-Максвелла для столкновительной и либо полностью, либо частично ионизированной плазмы.

Тема 2.2. Гамильтонова формулировка системы уравнений движения заряда в электромагнитном поле. Система Власова-Максвелла в гамильтоновых переменных. Основные свойства системы Власова-Максвелла. Энергетическая подстановка. Дебаевское экранирование и радиус Дебая. Плазменные колебания. Задача с конечным числом частиц и гидродинамическая подстановка.

Тема 2.3. Постановка задачи Коши и начально-краевой (смешанной) задачи для системы Власова-Максвелла. Разложение электрического поля на потенциальную и соленоидальную части. Переформулировка системы Власова-Максвелла. Система Власова-Дарвина и ее эллиптическая переформулировка. Система Власова-Пуассона.

Тема 2.4. Точные решения задачи Коши для системы уравнений движения заряда (системы Ньютона-Лоренца) в случае постоянных полей в классическом пределе и в релятивистском случае. Асимптотический метод осреднения для «двухмасштабных» задач. Замагниченная частица и три варианта дрейфовой системы уравнений движения ведущего центра.

Тема 2.5. Кинетическое уравнение для замагниченной компоненты в дрейфовом приближении и вывод для этой компоненты системы гидродинамических уравнений. Система уравнений Чу-Гольдбергера-Лоу (ЧГЛ) в многожидкостном и одножидкостном приближениях. Осреднение системы уравнений Чу-Гольдбергера-Лоу для электронов по плазменным колебаниям. Гибридное описание плазмы с замагниченными электронами: уравнение Власова для ионов и равновесие вдоль силовых магнитных линий для электронов в рамках системы уравнений ЧГЛ.

Тема 2.6. Некоторые точные решения стационарных задач. Токовый слой Харриса.

Тема 2.7. Обзор основных численных методов решения системы уравнений Власова-Максвелла.

4. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В рамках изучения данной дисциплины реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе традиционных образовательных технологий, активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Традиционные образовательные технологии: лекции.

Активные и интерактивные формы занятий: лекция - семинар.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

5.1. Виды самостоятельной работы

Раздел/Тема дисциплины	Вид самостоятельной работы	Литература
1. Кинетическая теория газов.	проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы с привлечением компьютерных средств, конспектирование материалов, аннотирование научных публикаций, работа со справочной литературой	см. раздел 8 «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины»
2. Кинетическая теория плазмы.	проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы с привлечением компьютерных средств; конспектирование материалов, аннотирование научных публикаций, работа со справочной литературой	см. раздел 8 «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины»

Итого часов на самостоятельную работу: 54 часов

5.2. Вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Общий вид системы уравнений газовой динамики.
2. Функции распределения от N -частичной до 1-частичной и определение гидродинамических величин.
3. Общий вид кинетического уравнения с заданным внешним силовым полем и интегралом столкновений.
4. Интеграл столкновений Максвелла-Больцмана и его основные свойства.
5. Законы сохранения для уравнения Больцмана и H -теорема.
6. Распределения Максвелла и локально максвелловское. Распределение Максвелла-Больцмана в потенциальном внешнем поле.
7. и с использованием системы укороченных уравнений.
8. Метод Чэпмена-Энскога. Вывод уравнений газовой динамики из уравнения Больцмана.
9. Интеграл столкновений Энскога для плотного газа.

10. Интеграл столкновений Ландау-Фоккера-Планка в случае слабых столкновений. Уравнение Ландау-Фоккера-Планка в дивергентной форме.
11. Постановка задачи Коши и начально-краевой (смешанной) задачи для уравнения Больцмана.
12. Основные численные методы для решения уравнения Больцмана.
13. Общий вид кинетического уравнения типа Власова. Понятие самосогласованного поля.
14. Система уравнений Власова-Максвелла для релятивистского случая, а также для классического случая. Гамильтонова формулировка системы уравнений движения заряда в электромагнитном поле. Система Власова-Максвелла в гамильтоновых переменных.
15. Сведение задачи движения системы, состоящей из конечного числа точечных зарядов нескольких сортов, одинаковых внутри каждого сорта, к системе уравнений Власова.
16. Гидродинамическая подстановка в уравнение Власова.
17. Гидродинамические уравнения, вытекающие из уравнения Власова.
18. Точные решения задачи Коши для системы уравнений движения заряда (системы Ньютона-Лоренца) в случае постоянных полей в классическом пределе и в релятивистском случае.
19. Замагниченная частица и три варианта дрейфовой системы уравнений движения ведущего центра.
20. Кинетическое уравнение для замгниченной компоненты в дрейфовом приближении и вывод для этой компоненты системы гидродинамических уравнений. Система уравнений Чу-Гольдбергера-Лоу в многожидкостном и одножидкостном приближениях.
21. Постановка задачи Коши и начально-краевой (смешанной) задачи для системы Власова-Максвелла.
22. Разложение электрического поля на потенциальную и соленоидальную части. Переформулировка системы Власова-Максвелла.
23. Система Власова-Дарвина и ее эллиптическая переформулировка.
24. Система Власова-Пуассона.
25. Основные численные методы решения системы уравнений Власова-Максвелла.

5.3. Порядок выполнения самостоятельной работы

Самостоятельная подготовка к занятиям осуществляется регулярно по каждой теме дисциплины и определяется календарным графиком изучения дисциплины. Самостоятельная работа заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, в выполнении заданий лектора.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться перед экзаменом.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1. Формы текущего контроля работы аспирантов

Формами текущего контроля работы аспирантов по дисциплине «Кинетическая теория газов и плазмы» являются: домашнее задание.

6.2. Порядок осуществления текущего контроля

Текущий контроль выполнения заданий осуществляется регулярно, начиная с 4 недели семестра. Текущий контроль освоения отдельных разделов дисциплины осуществляется при помощи заданий в завершении изучения каждого раздела. Система текущего контроля успеваемости служит в дальнейшем наиболее качественному и объективному оцениванию в ходе промежуточной аттестации.

6.3. Промежуточная аттестация по дисциплине

Промежуточная аттестация проводится в форме экзаменов после 1-го семестра и в конце курса.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. *Арсеньев А. А.* Лекции о кинетических уравнениях. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1992. 212 с.
2. *Черчиньяни К.* Теория и приложения уравнения Больцмана. М.: Мир. 1978.
3. *Ферцигер Дж., Капер Г.* Математическая теория процессов переноса в газах. М.: Мир. 1976. 554 с.
4. *Веденяпин В. В.* Кинетические уравнения Больцмана и Власова. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2001. 112 с.
5. *Владимиров В.С.* Уравнения математической физики. 5-е изд., М.: Наука, 1988. 512 с.
6. *Ладыженская О.А.* Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. изд. 2-е, М: Наука. 1970. 288 с.
8. *Хокни Р., Иствуд Дж.* Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987.
9. *Бэдсел Ч., Ленгдон А.* Физика плазмы и численное моделирование. М.: Энергоатомиздат, 1989. 452 с.
10. *Трубников Б.А.* Теория плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1996. 464 с.
11. *Чен Ф.* Введение в физику плазмы. М.: Мир. 1987. 398 с.

Веб-сайты с электронными ресурсами:

- eLIBRARY.RU[Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. - URL: <http://www.elibrary.ru>
- Антиплагиат [Электронный ресурс]. -<http://www.antiplagiat.ru/>
- Саратовский госуниверситет: <http://course.sgu.ru>
- Научно-образовательный портал кафедры радиофизики и нелинейной динамики, СГУ: <http://chaos.sgu.ru/>
- Научная и учебная литература: <http://URSS.ru>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения занятий по дисциплине «Кинетическая теория газов и плазмы», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- учебная аудитория, оборудованная комплектом мебели, доской; комплект проекционного мультимедийного оборудования; офисная оргтехника.


Автор



к.ф.-м.н. О. В. Мингалев

Программа одобрена на заседании Ученого совета ПГИ
от 30.09.2016 года, протокол № 6.

Ученый секретарь



к.ф.-м.н. К.Г. Орлов