

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

УТВЕРЖДАЮ:

Врио директора
ПГИ _____ Б.В.Козелов

« _____ » _____ 2016 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

**Современные численные методы газовой
динамики и динамики плазмы**

Направление подготовки кадров высшей квалификации
16.06.01 Физико-технические науки и технологии

Направленность образовательной программы
01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Квалификация (степень) выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения
очная, заочная

Апатиты, Мурманск

2016

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

Дисциплина «Современные численные методы газовой динамики и динамики плазмы» относится к вариативной части ООП (дисциплина по выбору) и осваивается в течение второго и третьего года очной и заочной аспирантуры по направлению подготовки 16.06.01 «Физико-технические науки и технологии», направленности - 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 углубленных теоретических и практических знаний в области современных численных методов решения задач динамики газа и плазмы, представлений о современных численных методах решения задач математической физики, а также умения самостоятельно создавать комплексы программ для численного решения задач динамики газа и плазмы.

В рамках курса решаются следующие задачи:

- углубленное изучение современных численных методов решения задач динамики газа и плазмы в соответствии с ФГОС ВО по направлению «Физико-технические науки и технологии»;
- развитие общепрофессиональных компетенций в области современной механики жидкости, газа и плазмы, физики атмосферы и гидросферы, а также радиофизики в соответствии с ФГОС ВО по направлению «Физико-технические науки и технологии»;
- освоение методов численного решения систем уравнений, описывающих динамические процессы в газах и плазме.

2. Результаты обучения, определенные в картах компетенции и формируемые по итогам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Современные численные методы газовой динамики и динамики плазмы» направлен на формирование следующих профессиональных компетенций:

ПК-1: способность к построению и использованию численных моделей механики жидкости, газа и плазмы на основе глубокого знания соответствующего математического аппарата;

ПК-2: готовность к созданию программных комплексов для численного моделирования в области механики жидкости, газа и плазмы;

ПК-3: владение методологией и культурой научного исследования в области механики жидкости, газа и плазмы, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1.ДНС	<p><i>З1 (ПК-1.ДНС)</i> Знать основы физики процессов, обуславливающих динамику газа и плазмы; знать методы численного решения задач механики жидкости и газа;</p> <p><i>У1 (ПК-1.ДНС)</i> свободно владеть фундаментальными разделами математики и механики, необходимыми для численного решения научно-исследовательских задач механики газа и плазмы;</p> <p><i>В1 (ПК-1.ДНС)</i> Владеть навыками построения численных математических моделей динамических процессов в газе и плазме;</p>
ПК-2.ДНС	<p><i>З2 (ПК-2.ДНС)</i> Использовать знания современных проблем и новейших достижений механики жидкости газа и плазмы в своей научно-исследовательской деятельности;</p> <p><i>У2 (ПК-2.ДНС)</i> Уметь свободно применять полученные знания по математическому моделированию течений жидкости и газа, проводить анализ и сопоставление разных способов моделирования;</p> <p><i>В2 (ПК-2.ДНС)</i> Владеть современными методами математического моделирования динамических процессов в газе и плазме.</p>
ПК-3.ДНС	<p><i>З3 (ПК-3.ДНС)</i> Иметь способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области численного моделирования динамических процессов в газе и плазме, а также решать эти задачи с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;</p> <p><i>У3 (ПК-3.ДНС)</i> Уметь свободно применять полученные знания по методологии научного исследования в области механики жидкости, газа и плазмы;</p> <p><i>В3 (ПК-3.ДНС)</i> Владеть методологией и культурой научного исследования в области механики жидкости, газа и плазмы, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.</p>

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, из которых 36 часов лекции, 20 часов семинары, 24 часа мероприятия промежуточной аттестации (экзамен), 64 часа самостоятельная работа обучающегося.

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (<i>по темам</i>) Формы промежуточной аттестации
		лекции	практические	СР	
1	Вводные положения	2	1	3	Отчет по практическим заданиям
2	Численные методы линейной алгебры	6	3	10	Отчет по практическим заданиям
3	Схемы для линейного уравнения переноса и линейных гиперболических систем 1-го порядка	6	3	11	Отчет по практическим заданиям
4	Схемы для уравнений газовой динамики	8	4	14	Отчет по практическим заданиям
5	Схемы для уравнений магнитной гидродинамики	4	2	8	Отчет по практическим заданиям
6	Метод крупных частиц для бесстолкновительной плазмы	6	4	10	Отчет по практическим заданиям
7	Сеточные и сеточно-характеристические методы для бесстолкновительной плазмы	4	3	8	Отчет по практическим заданиям
Итого по всему курсу:		36	20	64	24 (Экзамен)

Содержание дисциплины «Современные численные методы динамики газа и плазмы»

Раздел 1. Вводные положения

Роль вычислительного эксперимента в современной науке. Обзор задач в области газовой динамики и динамики плазмы, для которых разработаны методы численного моделирования. Основные исторические этапы в развитии численных методов динамики газа и плазмы.

Раздел 2. Численные методы линейной алгебры

Прямые и итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Различные варианты методов прогонки. Метод быстрого преобразования Фурье. Метод

Жордана-Гаусса с выбором главного элемента. Метод сопряженных градиентов. Обзор итерационных методов. Программная реализация прямых и итерационных методов.

Раздел 3. Схемы для линейного уравнения переноса и линейных гиперболических систем 1-го порядка

Линейное уравнение переноса. Геометрическая интерпретация устойчивости по начальным данным. Построение явных разностных схем 1-го и 2-го порядка точности. Метод Годунова. Монотонность явных схем. Условия монотонности для явных схем. Схемы класса TVD. Явные схемы повышенного порядка точности. Построение монотонной гибридной схемы 3-го порядка точности. Обобщение изложенных схем для линейных гиперболических систем 1-го порядка.

Раздел 4. Схемы для уравнений газовой динамики

Запись уравнений газовой динамики в консервативной форме. Метод расщепления по пространственным направлениям. Метод Годунова построения явных разностных схем. Метод конечного объема. Точные и приближенные решения задачи Римана. Обзоры схем 1-го и 2-го порядка точности. Явные схемы повышенного порядка точности. Построение монотонной гибридной схемы 3-го порядка точности. Программная реализация явных разностных схем. Неявные схемы.

Раздел 5. Схемы для уравнений магнитной гидродинамики

Консервативная форма МГД-системы. Классификация МГД-разрывов. Обзор явных разностных схем для МГД-системы.

Раздел 6. Метод крупных частиц для бесстолкновительной плазмы

Системы уравнений Власова-Максвелла, Власова-Дарвина и Власова-Пуассона. Метод крупных частиц для начально-краевых задач для этих систем. Явные и неявные схемы метода крупных частиц. Особенности метода для 1, 2 и 3-мерных по пространству задач. Примеры использования метода крупных частиц. Особенности его программной реализации.

Раздел 7. Сеточные и сеточно-характеристические методы для бесстолкновительной плазмы

Разностные схемы для систем уравнений Власова-Максвелла, Власова-Дарвина и Власова-Пуассона на сетке в пространстве скоростей и координат. Явные и неявные схемы. Гидродинамическая подстановка конечного числа потоков для уравнения Власова. основанные на ней схемы численного интегрирования. Особенности программной реализации.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В рамках изучения данной дисциплины реализация компетентного 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.

В рамках изучения данной дисциплины используются:

- мультимедийные образовательные технологии: интерактивные лекции

(презентации) с использованием программы OpenOffice;

Для обеспечения доступности обучения инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья в преподавании дисциплины могут быть использованы следующие адаптивные технологии: интернет-технологии и дистанционное обучение - для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата; разноуровневое и дифференцированное обучение - для слабовидящих обучающихся. Подбор и разработку учебных материалов можно предоставлять в различных формах: для обучающихся с нарушениями слуха информацию можно представлять визуально, с нарушением зрения - аудиально. Для лиц с ограниченным зрением изображения мелких объектов можно представлять в форме презентаций. Общение преподавателей с обучающимся можно осуществлять с помощью дистанционных технологий (сети Интернет, электронной почты, социальных сетей).

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

6.1. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа аспирантов поддерживается рекомендованными учебными пособиями. Система контроля включает текущий (по ходу семестра) контроль освоения практического материала, зачет в конце третьего семестра. Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения контрольных работ и приема обязательных заданий. Окончательная оценка работы аспиранта происходит на экзамене. Экзамен проводится по билетам, в устной форме.

6.2. Вопросы для углубленного самостоятельного изучения

1. Постановки задач в области газовой динамики и динамики плазмы, для которых разработаны методы численного моделирования.
2. Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Различные варианты методов прогонки. Метод быстрого преобразования Фурье. Метод Жордана-Гаусса с выбором главного элемента.
3. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод сопряженных градиентов.
4. Построение явных разностных схем 1-го и 2-го порядка точности для линейного уравнения переноса. Метод Годунова. Монотонность явных схем. Условия монотонности для явных схем.
5. Схемы класса TVD. Явные схемы повышенного порядка точности. Построение монотонной гибридной схемы 3-го порядка точности. Обобщение изложенных схем для линейных гиперболических систем 1-го порядка.
6. Запись уравнений газовой динамики в консервативной форме. Метод расщепления по пространственным направлениям.
7. Метод Годунова построения явных разностных схем для уравнений газовой динамики. Метод конечного объема.
8. Точные и приближенные решения задачи Римана. Обзоры схем 1-го и 2-го порядка точности для уравнений газовой динамики. Явные схемы повышенного порядка точности.
9. Построение монотонной гибридной схемы 3-го порядка точности. Программная реализация явных разностных схем.
10. Неявные схемы для уравнений газовой динамики.

11. Консервативная форма МГД-системы. Классификация МГД-разрывов. Обзор явных разностных схем для МГД-системы.
12. Системы уравнений Власова-Максвелла, Власова-Дарвина и Власова-Пуассона.
13. Метод крупных частиц для начально-краевых задач для этих систем. Явные и неявные схемы метода крупных частиц.
14. Особенности метода крупных частиц для 1, 2 и 3-мерных по пространству задач. Примеры использования метода крупных частиц. Особенности его программной реализации.
15. Разностные схемы для систем уравнений Власова-Максвелла, Власова-Дарвина и Власова-Пуассона на сетке в пространстве скоростей и координат. Явные и неявные схемы.
16. Гидродинамическая подстановка конечного числа потоков для уравнения Власова. основанные на ней схемы численного интегрирования. Особенности программной реализации.

6.3. 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 во время зачета.

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

7.1. Формы текущего контроля работы аспирантов

Формами текущего контроля работы аспирантов по дисциплине «Механика жидкости и газа» являются: проведения контрольных работ и приема обязательных заданий. Окончательная оценка работы аспиранта происходит на кандидатском экзамене. Экзамен проводится по билетам, в устной форме.

7.2. Порядок осуществления текущего контроля

Текущий контроль выполнения заданий осуществляется регулярно, начиная с 4 недели семестра. Контроль и оценивание выполнения реферата осуществляется на 15 неделе 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.

7.3. Промежуточная аттестация по дисциплине

Промежуточная аттестация проводится в форме зачетов.

7.4. Итоговая аттестация по дисциплине

Итоговая аттестация проводится в форме экзамена.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Годунов С.К. Введение в теорию разностных схем / С. К. Годунов, В. С. Рябенский. - М.: 1962. - 340 с.
2. Калиткин Н.Н. Численные методы : Учеб. пособие для вузов / Под ред. Самарского А. А. -М.: 1978. - 512 с. : ил.
3. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. В 2 т.. Т. 2 / К. Флетчер ; пер. с англ. В. Ф. Каменецкого ; под ред. Л. И. Турчака. - М., 1991. - 502 с. : ил.
4. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. В 2 т.. Т.1. Основные положения и общие методы : пер. с англ / К. Флетчер ; под ред. В. П. Шидловского. - М., 1991. - 502 с. : ил., табл.
5. Самарский А.А. Разностные схемы газовой динамики : учебное пособие для вузов по специальности "Прикладная математика" / А. А. Самарский, Ю. П. Попов. - М.: 1975. - 350 с.
6. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987.
7. Бэдсел Ч., Ленгдон А. Физика плазмы и численное моделирование. М.: Энергоатомиздат, 1989. 452 с.
8. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 608 с.
9. Бисикало Д.В., Жилкин А.Г., Боярчук А.А. Газодинамика тесных двойных звезд. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2013. 632 с.

Дополнительная 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.
7. Трубников Б.А. Теория плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1996. 464 с.
8. 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 «Современные численные методы газовой динамики и динамики 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.

10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для аспирантов с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены следующие формы организации педагогического процесса и контроля знаний:

-для слабовидящих:

обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
инструкция о порядке выполнения контрольных заданий оформляется увеличенным шрифтом (размер 16-20).

Автор _____ д.ф.-м.н. И.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