

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Линник Оксана Владимировна

Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ

Дата подписания: 13.10.2023 15:47:50

Уникальный программный ключ:

d85fa2f259a0913da9b08299985891736420182

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»  
**Снежинский физико-технический институт –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СФТИ НИЯУ МИФИ)**

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. руководителя по учебной  
и научно-методической работе

П. О. Румянцев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МЕТОД ЧАСТИЦ В ГАЗОВОЙ ДИНАМИКЕ**

наименование дисциплины

Направление подготовки \_\_\_\_\_ 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

Профиль подготовки \_\_\_\_\_ «Математическое обеспечение компьютерных технологий»

Наименование образовательной программы: \_\_\_\_\_

Квалификация (степень) выпускника: \_\_\_\_\_ магистр

(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения \_\_\_\_\_ очная

(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

г. Снежинск,

2022 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины Метод частиц в газовой динамике является ознакомление студентов с общими методами и подходами в газовой динамике разреженного газа, физике ионизованного газа и магнитной гидродинамике, включая получение практических результатов, изложение курса газовой динамики, включая такие разделы как газовая динамика разреженного газа, физика ионизованного газа и магнитная гидродинамика, основных методов построения и анализа сложных математических моделей; алгоритмов для исследования математических моделей с использованием ЭВМ. Курс призван дать обзор некоторых актуальных научных проблем прикладной математики и информатики, а также существующих в настоящее время методов, подходов и средств решения данных проблем.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина относится к базовым дисциплинам общенаучного цикла. Она непосредственно связана физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.) и спецкурсам, естественнонаучного и математического цикла («Философия», «Физика», «Информатика», «Концепции современного естествознания») и общепрофессионального и специального цикла («Уравнения математической физики», «Компьютерные модели и их применение») и опирается на освоенные при изучении данных дисциплин знания и умения.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

• Знать:

- основы динамики разреженных газов, физики ионизованного газа и магнитной гидродинамики, современные методы и подходы в исследовании протекающих там процессов.

- теоретические основы и базовые представления научного исследования в области газовой динамики.

• Уметь:

- решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения;

- использовать полученные теоретические знания при решении практических задач.

• Владеть:

- владеть основными современными методами расчета объекта научного исследования.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
ОПК-1	Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики

ОПК-2	Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач
ОПК-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности
ОПК-4	Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности
ПК-1	Способен проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива
ПК-2	Способен к разработке и внедрению наукоемкого программного обеспечения, способствующего решению передовых задач науки и техники на основе современных математических методов и алгоритмах
ПК-3	Способен развивать инновационный потенциал новых научных и научно-технологических разработок
ПК-5	Способен четко формулировать цели и задачи научно-прикладных проектов, разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач
ПК-7	Способен управлять проектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта в области прикладной математики и информационных технологий
ПК-9	Способен использовать современные информационные технологии в образовательной деятельности
ПК-10	Способен осуществлять подготовку и переподготовку кадров в области прикладной математики и информационных технологий

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр	Трудоемкость, кредит	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	КСР, час.	СРС, час.	Форма контроля, Экз./зачет
4	5	180	24	24	-	114	экз.

Занятия в интерактивной форме составляют 0 часов от общего объема аудиторных занятий. Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 кредитов, 180 часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Аттестация раздела (неделя, форма)	Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел *
			Лекции	Практ. занятия/семинары	КСР			
<b>4 семестр</b>								

1	Уравнения магнитной газодинамики(МГД)		6	6			Устный отчет	25
2	Теория характеристик системы квазилинейных дифференциальных уравнений задач механики сплошных сред. Течения в каналах		6	6			Отчеты по лабораторным работам	25
3	Математическая теория разрывных решений		6	6				
4	Методы решений прикладных МГД задач		6	6				
Всего:			24	24	-	-	-	50
Зачет, Экзамен								50
Итого за 4 семестр:								100

При сдаче отчетов и письменных работ проводится устное собеседование.

#### 4.1 Программа и основное содержание лекций

##### Первый раздел

##### Тема 1. Уравнения магнитной газодинамики(МГД)

Плазма (четвертое состояние вещества) в природе и технике. Основные приложения физики плазмы в современной науке и технике. Роль математического моделирования в решении фундаментальных и прикладных задач.

Плотная плазма – сплошная среда. Уравнения магнитной газодинамики(МГД) в форме законов сохранения и в простейших неконсервативной форме.

##### Тема 2. Теория характеристик системы квазилинейных дифференциальных уравнений задачах механики сплошных сред. Течения в каналах

Теория характеристик системы квазилинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Гиперболичность систем уравнений газовой динамики и МГД. Характеристики системы стационарных уравнений газодинамики в случаях дозвуковых и сверхзвуковых течений.

##### Второй раздел

##### Тема 3. Математическая теория разрывных решений

Математическая теория разрывных решений квазилинейных уравнений газодинамики и МГД. Условия на разрывах. Типы разрывов. Эволюционность разрывов.

##### Тема 4. Методы решений прикладных МГД задач

Симметрия в прикладных МГД задачах. Двумерные течения в поперечном магнитном поле и в плоскости поля. Примеры. Обеспечение соленидальности магнитного поля в численном решении задач.

Плазмостатические модели равновесных конфигураций плазмы и поля в магнитных ловушках. Двумерные краевые задачи с уравнением Грэда-Шафранова. Вопросы существования и единственности решений, общие в математических моделях взаимодействия процессов реакции и диффузии.

Математическая теория МГД - устойчивости. Численное исследование линейной и нелинейной стадий устойчивости.

#### 4.2 Программа практических занятий

### 5. Образовательные технологии

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности магистрантов для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций.

Методы и формы активизации деятельности	Виды учебной деятельности			
	ЛК	Семинар	ЛБ	СРС
Дискуссия	х	х		
IT-методы	х		х	х
Командная работа		х	х	х
Разбор кейсов		х		
Опережающая СРС	х	х	х	х
Индивидуальное обучение			х	х
Проблемное обучение		х	х	х
Обучение на основе опыта		х	х	х

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных технологий;
- самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием *Internet*-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;
- закрепление теоретического материала при проведении лабораторных работ с использованием учебного и научного оборудования и приборов, выполнения проблемно-ориентированных, поисковых, творческих заданий.

### 6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов (СРС)

**6.1. Текущая и опережающая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений заключается в:

- работе магистрантов с лекционным материалом, поиск и анализ литературы и электронных источников информации по заданной проблеме и выбранной теме магистерской диссертации;
- поиске и анализе литературы и электронных источников информации по заданной проблеме и выбранной теме курсовой работы;
- переводе материалов из тематических информационных ресурсов с иностранных языков;
- изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- изучении теоретического материала к лабораторным занятиям;

- подготовке и защите курсовой работы;
- подготовке к экзамену.

#### 6.1.1. Темы, выносимые на самостоятельную проработку:

- история развития вычислительной техники за рубежом (США и Европа);
- история развития программного обеспечения за рубежом (США и Европа);
- современные методологии и информационные технологии, применяемые в области математического моделирования;
- системный подход к анализу и решению проблем, возникающих в процессе математического моделирования;
- учет специфики при моделировании открытых систем (синергия, самоорганизация).

#### 6.2. Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР)

направлена на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала магистрантов и заключается в:

- поиске, анализе, структурировании и презентации информации, анализе научных публикаций по определенной теме исследований;
- анализе статистических и фактических материалов по заданной теме, проведении расчетов, составлении схем и моделей на основе статистических материалов;
- выполнении расчетно-графических работ;
- исследовательской работе и участии в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.

### 7. Средства текущей и итоговой оценки качества освоения дисциплины (фонд оценочных средств)

Оценка успеваемости магистрантов осуществляется по результатам:

- самостоятельного (под контролем учебного мастера) выполнения лабораторной работы;
- взаимного рецензирования магистрантами работ друг друга;
- промежуточный анализ подготовленных магистрантами курсовых работ;
- устного опроса при сдаче выполненных индивидуальных заданий, защите отчетов по лабораторным работам и во время экзамена в первом семестре (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины).

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал,
75-84		C	

70-74		D	грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

- Математические и вычислительные задачи магнитной газодинамики : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2015.
- Д. А. Франк- Каменецкий. Лекции по физике плазмы.// М.: Атомиздат, 1964
- Закономерности низкотемпературной радиационной повреждаемости аустенитных сталей : , Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2023
- Метод акустической эмиссии : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2017

### б) дополнительная литература:

- Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем.– 7-е изд.– М.: Юрайт, 2012 – 343 с.
- Л. А. Арцимович, Р. З. Сагдеев. Физика плазмы для физиков.// М.: Атомиздат, 1979.
- Коган М.Н. Динамика разреженного газа. //М.:Наука, 1967.
- Берд Г. Молекулярная газовая динамика. //М.:Мир, 1981.
- Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: идеи. Методы. Примеры.– 2-е изд., испр.– М.: Наука : Физматлит, 2001. – 320с.

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://ibooks.ru/>

<http://e.lanbook.com/>

<http://www.biblio-online.ru/home;jsessionid=2e1f56dad5e63541356653818b3d?0>

<http://kuperbook.biblioclub.ru/>

<http://www.studentlibrary.ru/>

[http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK)

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы в рамках курса предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Разбор задач и поиск их решения, доказательство формул и теорем. Занятия проводятся в интерактивной форме общения студентов между собой при поиске метода решения поставленной задачи и оформлении решения. Преподаватель обеспечивает консультационное сопровождение процесса поиска решения.

2. Вводная и обзорная лекции проводятся с применением мультимедийных средств обучения в виде презентации PowerPoint, с целью в наиболее сжатом концентрированном виде сделать обзор пройденного материала с указанием взаимосвязи между разделами дисциплины, освещением основных изученных подразделов, а также для формирования у студентов общего представления о месте дисциплины в общем перечне дисциплин ООП ВО 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» и о формируемых этой дисциплиной компетенциях.

3. Домашние задания выдаются преподавателем каждому студенту на каждом практическом занятии. Задание представляет собой номера задач и упражнений из сборника задач. Домашние задания сдаются преподавателю на проверку. Защита домашних заданий предусмотрена. Прием заданий возможен как в рукописном, так и в печатном виде.

4. Один раз в две недели преподавателем проводится текущая консультация. Вопросы можно задавать лично преподавателю в назначенное время.

### **1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.**

Самостоятельная работа студентов составляет 16,67% от общего объема занятий, предусмотренных рабочим учебным планом направления подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика».

Часы на самостоятельную работу распределяются равномерно на весь курс обучения. Разделы, выводимые на самостоятельное изучение в рамках лекционных и практических разделов, устанавливаются преподавателем на каждой неделе, в зависимости от скорости усвоения материала студентами. Темы для самостоятельного изучения оглашаются преподавателем в конце каждого занятия и заносятся студентами в график самостоятельной работы.

Текущий контроль успеваемости проводится посредством проверки домашних заданий и конспекта текущей лекции.

Аттестация раздела проводится в виде контрольной работы. Максимальный балл за каждый раздел установлен п.4. настоящей рабочей программы.

### **Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### **Текущий контроль**

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также путем опросов на усвоение материала текущей лекции и решения типовых задач по теме текущей лекции. Студентам необходимо решить задачи, содержащиеся в задании.

#### **Промежуточная аттестация**



Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области газодинамики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

## **Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения**

### **Примеры заданий**

### **Вопросы к экзамену:**

1. Классификация плазмы. Квазинейтральность и разделение зарядов.
2. Экранированный кулоновский потенциал.
3. Траектории частиц в плазме, циклотронная частота, условие адиабатичности.
4. Качественно рассмотреть дрейфовое движение.
5. Постановка граничных условий для электромагнитного поля в задачах магнитной гидродинамики.
6. Электрический дрейф.
7. Дрейф в неоднородном магнитном поле
8. Поляризационный дрейф.
9. Столкновительные процессы в плазме: вероятность упругого рассеяния, скорость процесса.
10. Столкновительные процессы в плазме: холловский ток и проскальзывание ионов.
11. Постановка начальных условий для электромагнитного поля в задачах магнитной гидродинамики.
12. Гравитационный дрейф.
1. Получить уравнение индукции магнитного поля в случае наличия однородного внешнего поля, зависящего от времени ( $B_0=B_0(t)$ )
2. Оценить толщину скин-слоя в случае медленно меняющихся внешних полей.

3. Стационарный однородный поток слабоионизованной плазмы движется в плоском короткозамкнутом МГД-канале с постоянной скоростью  $u$  в поперечном магнитном поле  $B$ . Оценить возникающую разность температур  $T_e - T_i$ .
4. Найти распределение потенциала вблизи постоянного и неподвижного заряда в плазме, состоящих из электронов с температурой  $T_e$  и ионов двух сортов: с зарядовыми числами  $Z_1$  и  $Z_2$  и температурой  $T_i$ . Сравнить величины дебаевского радиуса для случаев одинаковых температур и одинаковых зарядовых чисел.
5. Определить критерий замагниченности для плазмы, заключенной в цилиндр с диаметром  $D$ .
6. В трубе постоянного сечения имеется стационарный поток плазмы. Перпендикулярно потоку приложено магнитное поле  $B=1 \text{ Вб/м}^2$ , градиент давления, обусловленный вязкостью, составляет  $100 \text{ кПа/м}$ . Какой должна быть плотность тока для поддержания постоянного потока в трубе? Поток считать одномерным и адиабатическим, индуцированным магнитным полем пренебречь.
7. В плоском канале под действием постоянного градиента давления течет вязкая проводящая жидкость. Перпендикулярно потоку и параллельно стенкам наложено однородное магнитное поле. Найти профиль скорости в канале.
8. Определить критерий вмороженности магнитного поля.
9. Ускорение плазмы происходит в рельсотроне, запитанном от батареи конденсаторов с емкостью  $C$ , с начальным напряжением заряда  $U$ . Оценить величину максимально достижимой скорости  $u$ . Изначально канал квадратного сечения со стороной  $a$  заполнен газом с молекулярной массой  $\mu$ .
10. Во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях протон делает 103 оборотов при прохождении  $1 \text{ см}$  пути в направлении, перпендикулярном обоим полям. Найти магнитную индукцию, если напряженность электрического поля равна  $10^6 \text{ В/см}$ .
11. В результате электрического пробоя в газе образовался токовый шнур. Определить величину равновесного радиуса шнура. Известны ток и давления в шнуре и окружающем газе.
12. Между коаксиальными цилиндрами с радиусами  $r_1$  и  $r_2$  находится проводящий газ. Разность потенциалов между цилиндрами  $U$ . Вдоль оси цилиндров приложено магнитное

поле В. Вычислить угловую скорость вращения среды. Вязкостью пренебречь.

## **2. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Мультимедийная аудитория (Л312). Компьютерный класс, оснащённый компьютерами с выходом в Интернет, а также принтером, сканером, ксероксом:

- Core Dual 2,4 МГц - 15 шт.
- Принтер HP LJ P3005 DN - 1 шт.
- Сканер HP SJ 4370 – 1 шт.
- Ноутбук Samsung
- Проектор ASER X1260

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика», ОС ВО НИЯУ МИФИ протокол № 21/11 от 27.07.2021 г.

Автор: доцент кафедры Высшей и прикладной математики, к.ф.-м.н., Глазырин Игорь Валерьевич

Рецензент \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании кафедры Высшей и прикладной математики 29 июня 2022 г., протокол № 12