

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Магнитная гидродинамика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.А. Медин, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов 29.05.2020

Аннотация

Курс «Магнитная гидродинамика» предусматривает изучение методов теоретических исследований течений электропроводной жидкости в магнитном поле и применения этих методов для решения фундаментальных и прикладных задач.

Задачи курса:

- объединение уравнений электродинамики и гидродинамики в замкнутую систему уравнений электромагнитной гидродинамики;
- формулировка магнитогидродинамического приближения, рассмотрение свойств уравнений магнитной гидродинамики и определение критериев подобия;
- рассмотрение фундаментальных проблем магнитной гидродинамики - поверхностей разрыва, волновых процессов и устойчивости равновесных конфигураций;
- решение прикладных задач: о течениях в магнитогидродинамических каналах, пограничных слоях и краевых электродинамических эффектах.

По результатам освоения курса студент должен знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
порядки численных величин, характерные для различных разделов электродинамики и гидродинамики;
современные проблемы теплофизики, энергетики, физики земли, математики;
основы термодинамики, молекулярной физики, физики плазмы, газовой динамики,
методы решения задач математической физики,
прикладные проблемы энергетики, авиационно-космических технологий.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Вторичные течения
2. Задача Гартмана
3. Квазиодномерное приближение
4. Концевые электродинамические эффекты
5. Магнитогидродинамические волны
6. Магнитостатика
7. Неустойчивость скинированного z-пинча
8. Обращение воздействий в магнитной гидродинамике
9. Поверхности разрыва
10. Течение у стенок каналов
11. Уравнения магнитной гидродинамики
12. Уравнения электродинамики

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение методов теоретических исследований течений электропроводной жидкости в магнитном поле и применения этих методов для решения фундаментальных и прикладных задач.

Задачи дисциплины

- объединение уравнений электродинамики и гидродинамики в замкнутую систему уравнений электромагнитной гидродинамики;
- формулировка магнитогидродинамического приближения, рассмотрение свойств уравнений магнитной гидродинамики и определение критериев подобия;
- рассмотрение фундаментальных проблем магнитной гидродинамики - поверхностей разрыва, волновых процессов и устойчивости равновесных конфигураций;
- решение прикладных задач: о течениях в магнитогидродинамических каналах, пограничных слоях и краевых электродинамических эффектах.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
порядки численных величин, характерные для различных разделов электродинамики и гидродинамики;
современные проблемы теплофизики, энергетики, физики земли, математики;
основы термодинамики, молекулярной физики, физики плазмы, газовой динамики, методы решения задач математической физики,
прикладные проблемы энергетики, авиационно-космических технологий.

уметь:

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
производить численные оценки по порядку величины;
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
видеть в технических задачах физическое содержание;
осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

культурой постановки и моделирования физических задач;
навыками грамотной обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными;
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Вторичные течения	1	1		5
2	Задача Гартмана	2	2		8
3	Квазиодномерное приближение	1	2		1
4	Концевые электродинамические эффекты	2	2		8
5	Магнитогидродинамические волны	1	1		10
6	Магнитостатика	2	1		10
7	Неустойчивость скинированного z-пинча	1	1		10

8	Обращение воздействий в магнитной гидродинамике	1	1		6
9	Поверхности разрыва	1	1		
10	Течение у стенок каналов	1	1		
11	Уравнения магнитной гидродинамики	1	1		1
12	Уравнения электродинамики	1	1		1
Итого часов		15	15		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Вторичные течения

Вторичные течения, механизм генерации вторичных течений токами Холла. Численное моделирование вторичных течений. Магнитоаэротермическая неустойчивость.

2. Задача Гартмана

Постановка задачи Гартмана. Распределение скорости, эффект Гартмана, гидравлическое сопротивление. Распределение давления, пинч-эффект. Распределения плотности тока и магнитного поля, эффект конвекции магнитного поля.

3. Квазиодномерное приближение

Уравнения сохранения массы, импульса и энергии среды. Электродинамические уравнения, осреднение гидродинамических параметров потока. Электродинамические параметры канонического потока, осреднение закона Ома, МГД-ускоритель и МГД-генератор.

4. Концевые электродинамические эффекты

Концевые электродинамические эффекты в МГД-каналах. Влияние распределения магнитного поля на концевые эффекты. Эффект Холла в канале с секционированными электродами.

5. Магнитогидродинамические волны

Невозмущенное состояние и линеаризация уравнений. Альфвеновские волны. Магнитозвуковые волны. Векторные диаграммы магнитогидродинамических волн. Диссипативное затухание альфвеновских волн.

6. Магнитостатика

Равновесие проводящей жидкости в магнитном поле. Условие равновесия ограниченного объема. Равновесные цилиндрические конфигурации, z-пинч и тета-пинч.

7. Неустойчивость скиннированного z-пинча

Задача устойчивости скиннированного z-пинча. Постановка задачи и линеаризация уравнений. Дисперсионное уравнение. Перестановочная и винтовая моды неустойчивости, способы их подавления, области существования устойчивых конфигураций.

8. Обращение воздействий в магнитной гидродинамике

Уравнения обращения воздействий. Анализ МГД-воздействий на течение в канале постоянного сечения. Генераторный, ускорительный и тормозной режимы течения, эффекты механического и теплового воздействий. M , u – диаграмма, свойства и предельные режимы течения в МГД-устройствах.

9. Поверхности разрыва

Соотношения на поверхностях разрыва. Классификация поверхностей разрыва. Прямой скачок в идеально проводящей среде, отношение плотностей и допустимые начальные скорости. Ударная адиабата для совершенного газа.

10. Течение у стенок каналов

Пограничный слой на стенках каналов. Уравнения сохранения и электродинамические соотношения. Граничные условия и сопряжение с уравнениями ядра потока. Особенности течений на электродных и изоляционных стенках.

11. Уравнения магнитной гидродинамики

Интегральные и дифференциальные уравнения сохранения массы, импульса и энергии вещества. Условия на поверхности разрыва. Магнитогидродинамическое приближение, физические ограничения и оценка главных членов в уравнениях Максвелла. Уравнение индукции, вмороженность и диффузия магнитного поля. Критерии подобия магнитной гидродинамики.

12. Уравнения электродинамики

Уравнения Максвелла. Нерелятивистское приближение, преобразование Лоренца. Закон Ома. Электродинамические условия на поверхностях разрыва. Уравнения сохранения электрического заряда, импульса и энергии электромагнитного поля. Пондеромоторная сила, тензор плотности потока импульса, плотность потока энергии, плотность работы поля над веществом.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Юрий Магда. UNIX. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006.
2. Дейтел Х.М., Дейтел П.Дж. Как программировать на С. М.: Бином, 2009.
3. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. М.: Наука, 1990.
4. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2002.

Дополнительная литература

1. Стен Келли-Бутл. Введение в UNIX. М.: «Лори», 1997.
2. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования С. Санкт-Петербург: Финансы и статистика, 2001.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Библиотека GSL, <http://www.gnu.org/software/gsl/>
2. Компиляция программ на языке C/C++, <http://www.firststeps.ru/linux/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

1. Библиотека GSL, <http://www.gnu.org/software/gsl/>
2. Компиляция программ на языке C/C++, <http://www.firststeps.ru/linux/>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	С.А. Медин, д-р техн. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Магнитная гидродинамика» обучающийся должен:

знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
порядки численных величин, характерные для различных разделов электродинамики и гидродинамики;
современные проблемы теплофизики, энергетики, физики земли, математики;
основы термодинамики, молекулярной физики, физики плазмы, газовой динамики,
методы решения задач математической физики,
прикладные проблемы энергетики, авиационно-космических технологий.

уметь:

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
производить численные оценки по порядку величины;
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
видеть в технических задачах физическое содержание;
осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

культурой постановки и моделирования физических задач;
навыками грамотной обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными;
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета:

1. Уравнения Максвелла. Нерелятивистское приближение, преобразование Лоренца. Закон Ома. Электродинамические условия на поверхностях разрыва.
2. Уравнения сохранения электрического заряда, импульса и энергии электромагнитного поля. Пондеромоторная сила, тензор плотности потока импульса, плотность потока энергии, плотность работы поля над веществом.
3. Интегральные и дифференциальные уравнения сохранения массы, импульса и энергии вещества. Условия на поверхности разрыва.
4. Магнитогидродинамическое приближение, физические ограничения и оценка главных членов в уравнениях Максвелла. Уравнение индукции, вращательность и диффузия магнитного поля. Критерии подобия магнитной гидродинамики.

5. Соотношения на поверхностях разрыва. Классификация поверхностей разрыва. Прямой скачок в идеально проводящей среде, отношение плотностей и допустимые начальные скорости. Ударная адиабата для совершенного газа.
6. Невозмущенное состояние и линеаризация уравнений. Альфвеновские волны. Магнитозвуковые волны. Векторные диаграммы магнитогидродинамических волн. Диссипативное затухание альфвеновских волн.
7. Равновесие проводящей жидкости в магнитном поле. Равновесные цилиндрические конфигурации, z-пинч и -пинч. Задача устойчивости скинированного z – пинча. Дисперсионное уравнение. Перестановочная и винтовая моды неустойчивости.
8. Эффект Гартмана, распределения скорости и давления, гидравлическое сопротивление. Пинч-эффект. Распределения плотности тока и магнитного поля, эффект конвекции магнитного поля.
9. Квазиодномерное приближение. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии среды.
10. Обращение воздействий в магнитной гидродинамике. Генераторный, ускорительный и тормозной режимы течения, эффекты механического и теплового воздействий.
11. МГД – течения в каналах. Пограничный слой на стенках каналов. Уравнения сохранения и электродинамические соотношения. Особенности течений на электродных и изоляционных стенках.
12. Вторичные течения, механизм генерации вторичных течений токами Холла. Численное моделирование вторичных течений. Магнитоаэротермическая неустойчивость.
13. Концевые электродинамические эффекты в МГД-каналах. Влияние распределения магнитного поля на концевые эффекты. Эффект Холла в канале с секционированными электродами.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.