

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
(ОИВТ РАН)

Принято на Ученом совете
ОИВТ РАН

Протокол № 3 от

15.11.2018

«Утверждаю»

Директор ОИВТ РАН

академик Петров О.Ф.



«15» ноября 2018 год

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины "Магнитная гидродинамика "

направление подготовки: «Физика и астрономия» код 03.06.01
(направленность – "Электрофизика, электрофизические установки")
(180 час. 5 зач. ед.)

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Москва
2018

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель дисциплины – Целью освоения дисциплины «Магнитная гидродинамика» является изучение методов теоретических исследований течений электропроводной жидкости в магнитном поле и применения этих методов для решения фундаментальных и прикладных задач.

Задачами данного курса являются:

- 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. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Магнитная гидродинамика» относится к вариативной части цикла Б.1.В.ОД.4 кода УЦ ООП и принадлежит к типу «в» по характеру освоения, т.е. должна быть освоена аспирантом обязательно, но не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане.

3. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

4. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Второй год, третий семестр обучения.

5. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.

Вариативная часть, в т.ч.:	<u>5</u> зач. ед.
Лекции	<u>36</u> часов
Семинары и практические занятия	<u>54</u> часа
Лабораторные работы	<u>нет</u> часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	<u>нет</u> часов
Самостоятельные занятия	<u>90</u> часов
ВСЕГО	180 часов (5 зач. ед.)

6. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Магнитная гидродинамика» направлено на формирование следующих универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций:

- а) универсальные (УК):

– способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

– готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4).

б) общепрофессиональные (ОПК)

– способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

в) профессиональные (ПК)

– готовность применять перспективные методы исследования и решения профессиональных задач с учетом мировых научных тенденций в области магнитной гидродинамики (ПК-1);

– способность выбирать и преобразовывать физические и математические модели магнитогидродинамических явлений и процессов при решении теоретических и практических задач механики жидкости и газа (ПК-3).

7. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины «Магнитная гидродинамика» обучающийся должен:

1. Знать:

– фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной магнитной гидродинамики;

– порядки численных величин, характерные для различных разделов электродинамики и гидродинамики;

– современные проблемы теплофизики, энергетики, физики земли, математики, для которых применимы методы магнитной гидродинамики.

2. 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 магнитной гидродинамики.

3. 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 в области магнитной гидродинамики.

8. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1	<p>З (УК-1) -1 Знать методы критического анализа и оценки современных достижений в области электрофизики и электрофизических установок в целом и магнитной гидродинамики, в частности; методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У (УК-1)-1 Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>В (УК-1)-1 Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>
УК-4	<p>З (УК-4)- 1 Знать виды и особенности источников информации по задачам магнитной гидродинамики; понимать общее содержание сложных текстов на абстрактные и конкретные темы.</p> <p>У (УК-4)-1 Уметь подбирать литературу по теме исследования на русском и английском языках, переводить и реферировать специальную литературу.</p> <p>В (УК-4)-1 Владеть навыками подготовки научных докладов и презентаций на базе иностранных и отечественных литературных источников и собственных результатов, объяснить свою точку зрения на государственном и иностранном языках.</p>
ОПК-1	<p>З (ОПК-1)-2 Знать цели и задачи научных исследований в области молекулярного моделирования, базовые принципы и методы их организации, основные источники научной информации и требования к представлению информационных материалов.</p> <p>У (ОПК-1)-1 Уметь составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты в соответствии с предъявляемыми требованиями.</p>
ПК-1	<p>З (ПК-1)- 1 Знать существующие и перспективные направления в области магнитной гидродинамики, сферу применения методов магнитной гидродинамики в задачах физики, химии, энергетики.</p> <p>У (ПК-1)-1 Уметь эффективно и адресно использовать положения фундаментальных и прикладных наук при постановке численных экспериментов и обработки результатов физического эксперимента.</p> <p>В (ПК-1)-1 Владеть методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки</p>

	выводов и рекомендаций
ПК-3	<p>З (ПК-3)- 1 Знать современные подходы и методы решения задач в области электрофизики и электрофизических процессов в целом и задач о течениях в магнитогидродинамических каналах , в частности; принципы и методы выбора и преобразования физических и математических моделей явлений, процессов и систем в области магнитной гидродинамики с целью их исследования и оптимизации средствами вычислительной техники.</p> <p>У (ПК-3)- 1 Уметь исследовать математические и численные модели процессов в области электрофизики и электрофизических установок в целом и магнитной гидродинамики, в частности; выбирать физические и математические модели явлений и процессов в области магнитной гидродинамики с целью их исследования средствами физического моделирования и вычислительной техники.</p> <p>В (ПК-3)-1 Владеть навыками работы с программным обеспечением, применяемым в области электрофизики и электрофизических установок в целом и магнитной гидродинамики, в частности.</p>

9. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам:

№ раздела и название	Трудоёмкость (количество часов)
1. Уравнения магнитной гидродинамики	60
2. Магнитостатика и магнитогидродинамические течения	55
3. МГД-течения в каналах	65
ВСЕГО (часов)	180

Вид занятий

Лекции:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	Вводная лекция.	2
1	Уравнения электродинамики	2
2	Уравнения магнитной гидродинамики	2
3	Поверхности разрыва	3
4	Магнитогидродинамические волны	2

5	Магнитостатика	5
6	Неустойчивость скинированного z-пинча	3
7	Задача Гартмана	3
8	Квазиодномерное приближение	3
9	Обращение воздействий в магнитной гидродинамике	4
10	Течение у стенок каналов	3
11	Вторичные течения	2
12	Концевые электродинамические эффекты	2
ВСЕГО (часов)		36

Лабораторные занятия: нет

Семинары и практические занятия:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	Практические занятия по теме Уравнения электродинамики. Решение задач..	4
2	Практические занятия по теме Уравнения магнитной гидродинамики. Решение задач.	4
3	Практические занятия по теме Магнитогидродинамические волны. Линеаризация уравнений. Решение задач	6
4	Практические занятия по теме Неустойчивость скинированного z-пинча.. Постановка задачи устойчивости скинированного z-пинча и линеаризация уравнений. Решение задач.	6
5	Практические занятия по теме Задача Гартмана. Распределение давления, пинч-эффект. Решение задач.	4
6	Практические занятия по теме Квазиодномерное приближение. Решение задач с применением уравнения сохранения массы, импульса и энергии среды.	6
7	Практические занятия по теме Обращение воздействий в магнитной гидродинамике. Решение задач с применением уравнения обращения воздействий.	6
8	Практические занятия по теме Течение у стенок каналов. Анализ граничных условий и методов сопряжения с уравнениями ядра потока.	6
9	Практические занятия по теме Вторичные течения. Изучение методов численного моделирования	6

	вторичных течений.	
10	Практические занятия по теме Концевые электродинамические эффекты. Влияние распределения магнитного поля на концевые эффекты. Решение задач..	6
ВСЕГО (часов)		54

Самостоятельная работа:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым обучаемым по итогам каждой из лекций, результаты конт-ролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	50
2	- решение задач по заданию преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	24
3	Подготовка к дифференцированному зачету	16
ВСЕГО (часов)		90

Содержание дисциплины

№ п/п	Названия модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (часы)	Самостоятельная работа (часы)
1	I Уравнения магнитной гидродинамики	Вводная лекция.	Основные термины и определения. магнитной гидродинамики.	2	2

2		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.	6	6
3		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, вмерзженность и диффузия магнитного поля. Критерии подобия магнитной гидродинамики.	8	8
4		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.	8	8
5		Магнитогидродинамические волны	Невозмущенное состояние и линеаризация уравнений. Альфвеновские волны. Магнитозвуковые волны. Векторные диаграммы магнитогидродинамических волн. Диссипативное затухание альфвеновских волн.	8	8
6	II Магнитостатика и магнитогидродинамические течения	Магнитостатика	Равновесие проводящей жидкости в магнитном поле. Условие равновесия ограниченного объема. Равновесные цилиндрические конфигурации, z-пинч и тета-пинч.	6	6
7		Неустойчивость скинированного z-пинча	Задача устойчивости скинированного z-пинча. Постановка задачи и линеаризация уравнений. Дисперсионное уравнение. Перестановочная и винтовая моды неустойчивости, способы их подавления, области существования устойчивых конфигураций.	8	8

8		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.	8	8
9		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.	8	8
19	III МГД-течения в каналах	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. М, и – диаграмма, свойства и предельные режимы течения в МГД-устройствах.	8	8
11		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.	8	8
12		Вторичные течения	Вторичные течения, механизм генерации вторичных течений токами Холла. Численное моделирование вторичных течений. Магнитоаэротермическая неустойчивость.	6	6
13		Концевые электродинамические эффекты	Концевые электродинамические эффекты в МГД-каналах. Влияние распределения магнитного поля на концевые эффекты. Эффект Холла в канале с секционированными электродами.	6	6
ВСЕГО (часов)				90	90

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

10.1 Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их «карты»

Вид дисциплины		Компетенции Наименование дисциплины	Универсальные компетенции					Обще-профессиональные компетенции		Профессиональные компетенции		
			УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	ОПК-1	ОПК-2	ПК-1	ПК-2	ПК-3
Вариативная часть	Дисциплины по выбору	Магнитная гидродинамика	+			+		+		+		+

Критерии оценивания компетенций приведены в ОПОП по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия».

10.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

10.2.1. Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета: Перечень контрольных вопросов для сдачи зачета и экзамена.

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, вмороженность 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 \square -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.

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

1. Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), персональный компьютер;
2. Комплекс источников СК ЭМИ, генераторов импульсов высокого напряжения и средства измерений.
3. Комплекс специализированных программ для расчётов в области СК ЭМИ.
4. Информационные ресурсы: журналы по механике жидкости и газа (Механика жидкости и газа, Journal of Fluid Mechanics), доступные через Internet, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

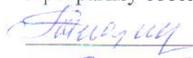
1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука. 2005, 656 с.
2. Шерклиф Дж. Курс магнитной гидродинамики. М.: Мир, 1967. 320с.
3. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М.: «Логос». 2005, 328 с.
4. Каулинг Т. Магнитная гидродинамика. М.: ИЛ. 1959, 132 с.

Дополнительная литература.

1. Davidson P.A. An Introduction to Magnetohydrodynamics. Cambridge University Press. 425 p. (<https://www.cambridge.org/core/books/an-introduction-to-magnetohydrodynamics/7FBA835C19E375799D921ED81202F91F>)
2. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: Физматлит. 2001, 608 с.
3. Альвен Г., Фельтхаммар К.-Г. Космическая электродинамика. М.: Мир. 1967. 260 с.
4. Сыроватский С И. Магнитная гидродинамика // Успехи физических наук. 1957. Т. LXII, вып.3. С. 247-303.
5. Эглит, М. Э.. Лекции по основам механики сплошных сред/ М. Э. Эглит. - 4-е изд. - Москва: Изд-во ЛКИ, 2012. - 208 с.
6. Ильюшин, А. А.. Механика сплошной среды: учеб. для ун-тов по спец. "Механика" / А. А. Ильюшин. - 3-е изд. - Москва: Изд-во МГУ, 1990. - 310 с.
7. Седов, Л. И. Механика сплошной среды: учеб. для ун-тов и вузов : в 2 т./ Леонид Иванович Седов; Леонид И. Седов. - 4-е изд.испр. и доп.. - Москва: Наука Т. 2. - 1984. - 560 с

13. Язык преподавания - русский.

Программу составил:

 д.т.н., проф. С.А.Медин
« 05 » 06 2018 г.