**Министерство науки и образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Московский физико-технический институт (государственный университет)»**

**МФТИ (ГУ)**

**Кафедра «Физика высокотемпературных процессов»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по учебной работе**

**О. А. Горшков**

**2012 г**.

.

**Рабочая УЧЕБНАЯ Программа**

**по дисциплине:** **Экспериментальная магнитная гидродинамика**

**по направлению:** 010900 «Прикладные математика и физика»

**магистерская программа:** 010932 – физика высокотемпературных процессов

**факультет:** **МБФ**

**кафедра: Физика высокотемпературных процессов**

**курс:** 5 (магистратура)

**семестры:** 9 **Диф. зачет: 9 семестр**

**Трудоёмкость в зач. ед.:** вариативная часть – 2 зач. ед.;

**в т.ч.:**

**лекции:** 34 час.;

**практические (семинарские) занятия:** нет;

**лабораторные занятия:** нет;

**мастер классы, индивид. и групповые консультации:** нет;

**самостоятельная работа:** 34 час.;

**курсовые работы:** нет.

**ВСЕГО часов 68**

**Программу составил:** проф.,д.т.н., Лебедев Е.Ф.

**Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов**

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.

Заведующий кафедрой академик, д.ф.-м.н. В.Е. Фортов

**ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Вариативная часть, в т.ч. :** | \_\_2\_\_ зач. ед. |
| Лекции | \_34\_ часа |
| Практические занятия | \_\_-\_\_ часов |
| Лабораторные работы | \_\_-\_\_ часов |
| Индивидуальные занятия с преподавателем | \_\_-\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия, включая подготовку курсовой работы | \_34\_ часа |
| Мастер- классы, индивидуальные и групповые  Консультации | \_\_-\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия (работа над коллективными и индивидуальными проектами, курсовые работы) | \_\_-\_\_ часов |
| **ВСЕГО** | 68 часов (2 зач. ед.) |
| **Итоговая аттестация** | Диф. зачет: 9 семестр |

1. **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

Целью освоения дисциплины «Экспериментальная магнитная гидродинамика» является изучение основных методов диагностики и средств создания плазменных потоков, движущихся в магнитном поле.

**Задачами данного курса являются:**

* изучение методов создания магнитных полей, и плазменных потоков;
* изучение методов диагностики газодинамических параметров (плотности плазмы, давления на стенки, поля скоростей, электропроводности);
* изучение методов измерения электромагнитных параметров (плотности тока, напряженности электрического и магнитного полей);
* методические и инструментальные ошибки при таких измерениях;
* методы преодоления наводок в сильноточных установках.

1. **Место дисциплины в структуре ООП МАГИСТРАТУРЫ**

Дисциплина **«Экспериментальная магнитная гидродинамика»** включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к профессиональному циклу М.2.

Дисциплина **«Экспериментальная магнитная гидродинамика»**базируется на материалах курсов бакалавриата: базовая и вариативная часть кода УЦ ООП Б.2**(**математическийестественнонаучный блок) по дисциплинам«Высшая математика» (математический анализ, высшая алгебра, дифференциальные уравнения и методы математической физики), блока «Общая физика» и региональной составляющей этого блока и относится к профессиональному циклу***.*** Освоение курса необходимо для разносторонней подготовки магистров к профессиональной деятельности, включающей как проведение фундаментальных исследований, так и постановку и решение инженерных задач.

1. **Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

Освоение дисциплины «**Экспериментальная магнитная гидродинамика**» направлено на формирование следующих общекультурных и общепрофессиональных интегральных компетенций магистрата:

*а) общекультурные (ОК):*

* *компетенция самообразования и самоорганизации*: способность и стремление к совершенствованию и развитию своего интеллектуального и общекультурного уровня, умение эффективно организовывать свою деятельность и достигать поставленные цели (ОК-1);
* *компетенция* *профессиональной мобильности*: способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);
* *компетенция получения знаний и использования новой информации:* способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать на практике новые знания и умения, способность интегрировать новую информацию в уже имеющуюся систему знаний и применять её, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ОК-3);
* *компетенция адаптивности и социальной ответственности в принятии решений*: способность быстро адаптироваться к изменению ситуации и принимать социально ответственные решения, способность проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности за принятие решения(ОК-7);
* *компетенция свободного пользования русским и иностранным языками, как средством делового общения), включая* способность применять навыки письменной и устной коммуникаций на русском и английском языках на уровне, достаточном для профессионального и бытового общения (ОК-8);

*профессиональные (ПК):*

* способность к пониманию важности воздействия внешних факторов, и их учёта в ходе исследований и разработок (ПК-2);
* способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике, химии, экологии, других естественных и социально-экономических науках (ПК-3);
* способность к выявлению сущности задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлечению соответствующего физико-математического аппарата для их решения (ПК-4);
* компетенция владения подходами и методами по совершенствованию информационно-коммуникационных технологий: способность применять подходы и методы совершенствования информационно-коммуникационных технологий в избранной предметной области (по программе специализированной подготовки магистра в рамках основной образовательной программы) (ПК-5);
* способность самостоятельно работать на компьютере на уровне квалифицированного пользователя, применять информационно-коммуникационные технологии для обработки, хранения, представления и передачи информации с использованием универсальных пакетов прикладных программ, знание общих подходов и методов по совершенствованию информационно-коммуникационных технологий (ПК-6);
* способность представлять планы и результаты собственной деятельности с использованием различных средств, ориентируясь на потребности аудитории, в том числе в форме отчётов, презентаций, докладов на русском и английском языках (ПК-7).

1. **конкретные Знания, умения и навыки, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины «**Экспериментальная магнитная гидродинамика**» обучающийся должен:

* 1. **Знать:**
* фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
* порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
* способы преобразования неэлектрических величин в электрические сигналы;
* конкретные методические ошибки при измерениях этих величин в магнитной гидродинамике.

1. **Уметь:**

* абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
* 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;
* работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
* использовать полученные знания для оценки качества получаемой экспериментальной информации.

1. **Владеть:**

* навыками освоения большого объема информации;
* навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
* навыками грамотной обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными;
* основами экспериментального искусства получения достоверной информации.

1. **Структура и содержание дисциплины**
   1. **Структура преподавания дисциплины**

**Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам**

|  |  |
| --- | --- |
| № темы и название | Количество часов |
| 1. Требования к экспериментальному оборудованию и диагностика плазменных потоков | 22 |
| 2. Измерение основных параметров плазменных потоков | 22 |
| 3. Особенности эксплуатации современных экспериментальных стендов для изучения плазменных потоков | 24 |
| ВСЕГО (зач. ед. (часов)) | 68 часов (2 зач. ед.) |

**Лекции:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость  (количество часов) |
| 1 | Классификация МГД установок. Физические процессы, исследуемые в магнитной гидродинамике. Диапазоны измеряемых магнитогидродинамических величин. Примеры постановки исследований в прикладной магнитной гидродинамике. Проблемы согласования расчетных и экспериментальных данных. | 3 |
| 2 | Типичные блок-схемы измерительных устройств. Влияние согласования элементов измерительных устройств на искажение сигналов и точность измерений. Эквивалентные схемы основных элементов блок-схем. Переходные и частотные характеристики. Основные правила согласования в измерительных устройствах и характерные искажения сигналов при рассогласовании. Элементы импульсной техники | 3 |
| 3 | Методы фоторегистрации и покадровой съемки. Сверхскоростная фоторегистрация. Синхронизация СФР-съемки с сигналами электронной регистрирующей аппаратуры. Быстродействующие механические и взрывные затворы. Некоторые специальные системы, расширяющие возможности механических оптических камер.  Электронно-оптические системы. Преимущества и особенности ЭОП. Однокадровые и многокадровые ЭОП. Применение ЭОП для регистрации контуров спектральных линий. Промышленные приборы. | 3 |
| 4 | Мембранные датчики. Пьезодатчики, особенности включения в схему измерений и тарировка. Измерение скорости пьезодатчиками и ионизационными зондами. Пьезодатчик, экранированный от переменных магнитных полей. Пьезодатчик, гальванически изолированный от плазмы. | 3 |
| 5 | Теневой метод. Шлирен-метод Теплера. Источники подсветки. Трассирование плазменных потоков электронным пучком и альфа-частицами. Измерение плотности плазмы по поглощению рентгеновских лучей. Оптическая интерферометрия плазмы. Метод двух длин волн для измерения электронной концентрации и скорости звука. | 3 |
| 6 | Электродный метод. Метод измерения электропроводности по изменению добротности L-C - контура. Метод вытеснения стационарного магнитного поля. Методические и инструментальные погрешности измерений. | 2 |
| 7 | Применение термоанемометра. Болометрические датчики. Термопарные быстродействующие датчики. Калориметрические измерители полной энтальпии плазмы. Обработка результатов измерений тепловых потоков. | 2 |
| 8 | Некоторые особенности измерений и обработки при измерениях с целью оценки энергетических характеристик МГД-процессов. Измерения стационарных и индуцированных магнитных полей. Измерение плотности тока в плазме поясами Роговского. Измерение мощных токов в разрядных цепях. Измерение напряженности электрического поля в плазме и импульсных напряжений. | 3 |
| 9 | Ударные трубы. Основные закономерности процессов. Диафрагменные и электроразрядные ударные трубы. Подогревные ударные трубы. Ударные трубы с применением взрывчатых веществ. Двухступенчатые ударные трубы. Основные результаты плазмофизических и МГД-исследований, полученные на ударных трубах. Плазмотроны. | 3 |
| 10 | Схемы формирования мощных импульсов тока и напряжения для питания генераторов плазмы. Синхронизация и управление установками. Элементы автоматизации с помощью ЭВМ. Типы основных электронных приборов и их характеристики. Некоторые специальные магнитогидродинамические и плазмофизические устройства, использующие экстремальные электрические токи и напряжения. Получение мегагаусных магнитных полей. | 3 |
| 11 | Характерные значения измеряемых сигналов и токов в основных цепях установок. Влияние пульсации цепей питания приборов. Наводки от радио и видеочастотных сигналов. Наводки от “вынесенного” потенциала. Организация измерений с изоляцией датчиков относительно плазмы с высоким потенциалом. Характерные особенности измерений в замагниченной плазме. Наводки, распространяемые по цепям заземления. Сводка основных правил при измерениях в условиях помех. Высокочастотные и оптронные развязки. | 3 |
| 12 | Основные сведения по электронике, необходимые экспериментатору. Частотные и переходные характеристики L -R, R - C и L - C цепей. Широкополосные усилители сигналов. Схемы формирования импульсных сигналов различной формы. Устройство и работа импульсного осциллографа. Схемы синхронизации и задержки импульсов. Применение аналого-цифровых преобразователей и ЭВМ для регистрации и обработки сигналов. Практическая демонстрация диагностических устройств, рассмотренных на лекциях. | 3 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 34 часа (1 зач. ед.) |

**Самостоятельная работа:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость  (количество часов) |
| 1 | Классификация МГД установок. Физические процессы, исследуемые в магнитной гидродинамике.Диапазоны измеряемых магнитогидродинамических величин. Примеры постановки исследований в прикладной магнитной гидродинамике. Проблемы согласования расчетных и экспериментальных данных. | 3 |
| 2 | Типичные блок-схемы измерительных устройств. Влияние согласования элементов измерительных устройств на искажение сигналов и точность измерений. Эквивалентные схемы основных элементов блок-схем. Переходные и частотные характеристики. Основные правила согласования в измерительных устройствах и характерные искажения сигналов при рассогласовании. Элементы импульсной техники | 3 |
| 3 | Методы фоторегистрации и покадровой съемки. Сверхскоростная фоторегистрация. Синхронизация СФР-съемки с сигналами электронной регистрирующей аппаратуры. Быстродействующие механические и взрывные затворы. Некоторые специальные системы, расширяющие возможности механических оптических камер.  Электронно-оптические системы. Преимущества и особенности ЭОП. Однокадровые и многокадровые ЭОП. Применение ЭОП для регистрации контуров спектральных линий. Промышленные приборы. | 3 |
| 4 | Мембранные датчики. Пьезодатчики, особенности включения в схему измерений и тарировка. Измерение скорости пьезодатчиками и ионизационными зондами. Пьезодатчик, экранированный от переменных магнитных полей. Пьезодатчик, гальванически изолированный от плазмы. | 3 |
| 5 | Теневой метод. Шлирен-метод Теплера. Источники подсветки. Трассирование плазменных потоков электронным пучком и альфа-частицами. Измерение плотности плазмы по поглощению рентгеновских лучей. Оптическая интерферометрия плазмы. Метод двух длин волн для измерения электронной концентрации и скорости звука. | 3 |
| 6 | Электродный метод. Метод измерения электропроводности по изменению добротности L-C - контура. Метод вытеснения стационарного магнитного поля. Методические и инструментальные погрешности измерений. | 2 |
| 7 | Применение термоанемометра. Болометрические датчики. Термопарные быстродействующие датчики. Калориметрические измерители полной энтальпии плазмы. Обработка результатов измерений тепловых потоков. | 2 |
| 8 | Некоторые особенности измерений и обработки при измерениях с целью оценки энергетических характеристик МГД-процессов. Измерения стационарных и индуцированных магнитных полей. Измерение плотности тока в плазме поясами Роговского. Измерение мощных токов в разрядных цепях. Измерение напряженности электрического поля в плазме и импульсных напряжений. | 3 |
| 9 | Ударные трубы. Основные закономерности процессов. Диафрагменные и электроразрядные ударные трубы. Подогревные ударные трубы. Ударные трубы с применением взрывчатых веществ. Двухступенчатые ударные трубы. Основные результаты плазмофизических и МГД-исследований, полученные на ударных трубах. Плазмотроны. | 3 |
| 10 | Схемы формирования мощных импульсов тока и напряжения для питания генераторов плазмы. Синхронизация и управление установками. Элементы автоматизации с помощью ЭВМ. Типы основных электронных приборов и их характеристики. Некоторые специальные магнитогидродинамические и плазмофизические устройства, использующие экстремальные электрические токи и напряжения. Получение мегагаусных магнитных полей. | 3 |
| 11 | Характерные значения измеряемых сигналов и токов в основных цепях установок. Влияние пульсации цепей питания приборов. Наводки от радио и видеочастотных сигналов. Наводки от “вынесенного” потенциала. Организация измерений с изоляцией датчиков относительно плазмы с высоким потенциалом. Характерные особенности измерений в замагниченной плазме. Наводки, распространяемые по цепям заземления. Сводка основных правил при измерениях в условиях помех. Высокочастотные и оптронные развязки. | 3 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 34 часа (1 зач. ед.) |

* 1. **Содержание дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Название модулей | Разделы и темы лекционных занятий | Содержание | Объем | |
| Аудиторная работа  (часы) | Самостоятельная работа  (часы) |
| 1 | I  ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ И ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ | **Основные понятия физики высоких давлений** | Введение. Научный метод познания – от эксперимента к теории и практическим применениям. Построение курса: экспериментальные методы, строгие теории, их объединение в модельных уравнениях состояния. Мотивация изучения уравнения состояния вещества. Системные и несистемные единицы измерений. | 1 | 1 |
| 2 | **Статические методы исследований.** | Общий анализ фазовой диаграммы. Наковальни Бриджмена, устройства изучения Р-Т диаграмм, алмазные наковальни. Лазерные алмазные наковальни. | 4 | 4 |
| 3 | **Электрический взрыв проводников.** | Изобарическое расширение. Взрыв в конечный объем. Плазменный изохорический генератор. | 2 | 2 |
| 4 | **Метод ударного сжатия** | Законы Гюгонио. Методы торможения и отражения. Генераторы ударных волн. Сверхвысокие давления, проблема эталона. Измерения фазовых переходов. Ударное сжатие пористого вещества. Метод изэнтропического расширения. Восстановление термодинамического потенциала по данным ударноволновых измерений. | 4 | 4 |
| 5 | II  ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ | **Сопоставление экспериментальных методов.** | Особенности методов, погрешности, область применимости. Выводы. | 1 | 1 |
| 6 | Теоретические методы расчета свойств твердого тела | Типы кристаллических решеток, о.ц.к. и г.ц.к. решетки, понятие решетки Бравэ, ячейки Вигнера-Зейтца.  Общие свойства для периодических решеток, граничные условия, число состояний, зонный спектр. Приближение сильной связи. Приближение слабой связи. Метод ячеек, MT – потенциал. Метод присоединенных плоских волн. Метод гриновских функций RRH (Корринга-Кон-Ростокер). Метод ортогонализованных плоских волн. Метод функционала плотности. | 5 | 5 |
| 7 | **Модели плазмы** | Метод Томаса-Ферми | 2 | 2 |
| 8 | **Модели жидкого состояния** | Понятия парной корреляционной функции и структурного фактора. Интегральные уравнения Борна-Грина-Ивона, Перкуса-Иевика, гиперцепное приближение, решение уравнения Перкуса-Иевика для потенциала твердых и мягких сфер. | 3 | 3 |
| 9 | III  ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ | **Сопоставление теоретических методов** | Методические особенности, область применимости. Выводы. | 1 | 1 |
| 10 | Методы расчета твердой фазы | Модели Эйнштейна и Дебая твердого тела. УРС Ми-Грюнайзена, связь коэффициента Грюнайзена с параметрами кривой упругого сжатия.  Потенциалы Борна-Майера, Берча-Мурнагана, Морзе; проблема описания сильносжатых состояний при T=0 К. | 4 | 4 |
| 11 | **Учет эффектов ангармонизма тепловых колебаний атом и электронов проводимости** | Плавление, учет плавления в моделях уравнения состояния, критерии плавления, учет эффектов ангармонизма тепловых колебаний атомов решетки по Кормеру, способы описания жидкой фазы.  Термодинамика электронной компоненты в различных областях фазовой диаграммы | 4 | 4 |
| 12 | Табличные уравнения состояния | Математические и физические требования к уравнениям состояния. Аппроксимационные УРС. Способы построения табличных УРС. Глобальные УРС, проблема термодинамической согласованности.. | 1 | 1 |

1. **Образовательные технологии**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Вид занятия | Форма проведения занятий | Цель |
| 1 | лекция | изложение теоретического материала | получение теоретических знаний по дисциплине |
| 2 | лекция | изложение теоретического материала с помощью презентаций | повышение степени понимания материала |
| 3 | лекция | решение задач по заданию (индивидуальному где требуется) преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце изучения темы, используются учебники, рекомендуемые данной программой | осознание связей между теорией и практикой, а также взаимозависимостей разных дисциплин |
| 4 | самостоятельная работа студента | подготовка к диф. зачету | повышение степени понимания материала |

1. **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**Контрольно-измерительные материалы**

Перечень контрольных вопросов для сдачи диф. зачета в 9-ом семестре.

* 1. Предельные токи и напряжения в природе и в экспериментах.
  2. Перечень импульсных накопителей и преобразователей, принцип работы.
  3. Способы создания экстремальных условий с помощью электрофизических установок.
  4. Проблемы согласования расчетных и экспериментальных данных в магнитной гидродинамике.
  5. Эквивалентные схемы основных элементов блок-схем измерительных устройств, переходные и частотные характеристики.
  6. Методы фотографической регистрации плазменных потоков.
  7. Методы измерения давления в движущейся плазме.
  8. Методы измерения плотности плазменных потоков.
  9. Измерение электропроводности движущейся плазмы.
  10. Тепловые потоки на стенки МГД-каналов. Обработка результатов измерений тепловых потоков.
  11. Измерения стационарных и индуцированных полей в потоке плазмы.
  12. Получение мощных плазменных потоков в ударных трубах. Плазмотроны.
  13. Схемы формирования мощных импульсов тока и напряжения для питания генераторов плазмы.
  14. Способы получения мегагаусных магнитных полей.
  15. Электромагнитные и акустические помехи при проведении экспериментов и способы их устранения.

1. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**
   1. **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет
2. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**
   1. **Основная литература**
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том VIII. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2003.
4. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Интеллект, 2009.
   1. **Дополнительная литература:**
5. Диагностика плазмы. Под ред. Хаддлстоуна, 1977, М.: ИЛ, 360 с.
6. Нестерихин Ю.Е., Солоухин Р.И., Методы скоростных измерений в газодинамике и физике плазмы, М.: Наука, 1967, 96 с.

**Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.**

1. Курс лекций «Физика плазмы», <http://www.inp.nsk.su/chairs/plasma/sk/fpl.ru.shtml>

Программу составил

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (Лебедев Е.Ф., д.т.н., профессор)

«\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.