

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Методы измерений в физике экстремальных состояний
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Р.А. Усманов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов 12.02.2024

## Аннотация

Курс посвящен методам измерений, применяемым в экспериментальных исследованиях физики высокотемпературных процессов. Рассмотрены общие принципы и средства динамической генерации экстремальных состояний, принципы получения физических данных в экспериментах, подходы к организации измерительных схем, а также к регистрации электрических сигналов различных сенсоров. Основное внимание в курсе уделяется методам измерения постоянных и импульсных токов, регистрации высоких уровней электрических напряжений, измерениям магнитных полей и проводимости плазмы. Рассматриваются особенности применения делителей напряжения, трансформаторов, электрических шунтов, пояса Роговского и магнитных зондов в экспериментальных измерениях. Отдельная часть курса посвящена проблемам подавления шумов при измерениях в мощных импульсных системах, а также обработке экспериментальных данных.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- изучение основных подходов к построению измерительных систем, транспортировке и регистрации электрических сигналов в экспериментах по генерации экстремальных состояний.

#### Задачи дисциплины

- получение представлений об общих принципах и средствах генерации экстремальных состояний;
- изучение подходов к построению измерительных схем в экспериментальных исследованиях;
- изучение основ регистрации и передачи электрических сигналов;
- изучение основных методов диагностики постоянных и импульсных токов, высоких уровней электрических напряжений, магнитных полей и проводимости плазмы;
- получение представлений о методах борьбы с шумами в измерениях.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- принципы и средства генерации экстремальных состояний;
- принципы построения измерительных систем;
- принципы и подходы к транспортировке и регистрации электрических сигналов.

уметь:

- методами диагностики постоянных и импульсных токов, высоких уровней электрических напряжений, магнитных полей и проводимости плазмы.

владеть:

- методами вычисления ошибок измерений и обработки экспериментальных данных;
- методами борьбы с шумами в измерениях.

#### 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	Общие принципы получения физических данных в экспериментах.		2		8
2	Принципы и средства динамической генерации экстремальный состояний.		2		8
3	Основы регистрации и передачи электрических сигналов.		4		8
4	Измерение тока на элементе цепи. Электрический шунт, импеданс шунта.		4		8
5	Измерения импульсных токов.		4		7
6	Измерения магнитных полей.		2		7
7	Средства регистрации напряжений.		2		7
8	Трансформатор, как измеритель напряжения и гальваническая развязка.		2		7
9	Диффузия магнитного поля в плазме.		2		7
10	Проблемы шумов в измерениях в мощных импульсных системах.		2		4
11	Основы метрологии.		4		4
Итого часов			30		75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

###### 1. Общие принципы получения физических данных в экспериментах.

Общие принципы получения физических данных в экспериментах. Схема получения экспериментальных результатов. Сенсоры, транспортировка и регистрация электрических сигналов, преобразование сигналов, селекция сигналов, обработка экспериментальных результатов и их анализ.

###### 2. Принципы и средства динамической генерации экстремальный состояний.

Принципы и средства динамической генерации экстремальный состояний. Характерные величины измеряемых параметров (давлений, температур, токов, напряжений, электрических и магнитных полей). Ударная труба, ударные эксперименты, легкогазовая пушка, электрическая пушка, рельсотрон, лазеры, заряженные пучки.

### 3. Основы регистрации и передачи электрических сигналов.

Основы регистрации и передачи электрических сигналов. Электрические цепи переменного тока, делитель напряжения, импеданс. Интегрирующие и дифференцирующие цепочки, длинные линии, коэффициент стоячей волны.

### 4. Измерение тока на элементе цепи. Электрический шунт, импеданс шунта.

Измерение тока на элементе цепи. Электрический шунт, импеданс шунта. Геометрия шунтов: плоский, коаксиальный, высокочастотный, сильноточный. Подключение шунтов. Разнесенные земли. Калибровка шунта.

### 5. Измерения импульсных токов.

Измерения импульсных токов. Пояс Роговского. Геометрия пояса Роговского. Регистрация сигнала с шунта. Дифференцирующий и интегрирующий пояс Роговского. Калибровка пояса Роговского.

### 6. Измерения магнитных полей.

Измерения магнитных полей. Магнитный зонд. Частотная характеристика и чувствительность зонда. Тест на емкостную связь. Способы подавления электростатических наводок на зонд. Калибровка зондов. Возмущения, вносимые зондом. Диагностика токовых структур, измерения напряженности вихревого электрического поля.

### 7. Средства регистрации напряжений.

Средства регистрации напряжений. Омические и емкостные делители. Компенсированный делитель. Подбор параметров делителей, реализация, меры предосторожности, калибровка.

### 8. Трансформатор, как измеритель напряжения и гальваническая развязка.

Трансформатор, как измеритель напряжения и гальваническая развязка. Коэффициент взаимной индукции. Переходные процессы. Время установления напряжения. Передача низкочастотных сигналов. Эквивалентная схема.

### 9. Диффузия магнитного поля в плазме.

Диффузия магнитного поля в плазме. Магнитное число Рейнольдса. Толщина диффузионного слоя. Индукционные методы измерения проводимости плазмы. Трансформаторный метод измерения, метод Лина, накладной датчик. Измерение проводимости плазмы по измерению импеданса зондирующего контура.

### 10. Проблемы шумов в измерениях в мощных импульсных системах.

Проблемы шумов в измерениях в мощных импульсных системах. Источники наводок, влияние контура заземления. Гальваническая, емкостная и индуктивная связи силовой и контрольной цепей. Техника безопасности при электрических измерениях.

### 11. Основы метрологии.

Основы метрологии. Виды и методы измерений. Источники погрешностей. Вычисление ошибок. Плотность вероятности, распределение Стьюдента, распределение Гаусса, доверительная вероятность. Представление результатов измерений.

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

учебная аудитория, компьютеры и мульти-медийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Зельдович Б, Райзер ЮП. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Рипол Классик; 2013
2. Кудасов, Ю.Б., 2010. Электрофизические измерения. Учебное пособие.
3. Шваб А. Измерения на высоком напряжении: измерительные приборы и способы измерения. Энергоатомиздат; 1983.
4. Генин ЛГ, Свиридов ВГ. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах. М.: Изд-во МЭИ. 2001.

### Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Хоровиц П, Хилл У. Искусство схемотехники. М: Мир. 1998.
2. Максимычев, А. В. Физические методы исследования. Конспект лекций. 2. Сигналы в длинных линиях. 2006.

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

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

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

не предусмотрены.

## **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)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	Р.А. Усманов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы измерений в физике экстремальных состояний» обучающийся должен:

### знать:

- принципы и средства генерации экстремальных состояний;
- принципы построения измерительных систем;
- принципы и подходы к транспортировке и регистрации электрических сигналов.

### уметь:

- методами диагностики постоянных и импульсных токов, высоких уровней электрических напряжений, магнитных полей и проводимости плазмы.

### владеть:

- методами вычисления ошибок измерений и обработки экспериментальных данных;
- методами борьбы с шумами в измерениях.

## 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.

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

Вопросы к экзамену:

1. Почему для получения вещества в экстремальном состоянии используются в основном динамические методы?
2. Вычислить индуктивность двухпроводной линии, коаксиального проводника.
3. Погрешности аналогового интегрирования и дифференцирования
4. Как выявить наличие емкостной связи индуктивного зонда с объектом измерения.
5. Что такое гальваническая связь между силовым и измерительным контурами?
6. Общие принципы получения физических данных в экспериментах.
7. Принципы и средства динамической генерации экстремальных состояний.
8. Основы регистрации и передачи электрических сигналов.
9. Измерение тока на элементе цепи. Электрический шунт, импеданс шунта.
10. Измерения импульсных токов.
11. Измерения магнитных полей.



12. Средства регистрации напряжений.
13. Трансформатор, как измеритель напряжения и гальваническая развязка.
14. Диффузия магнитного поля в плазме.
15. Проблемы шумов в измерениях в мощных импульсных системах.

Примеры экзаменационных билетов:

Пример 1:

1. Вычислить индуктивность двухпроводной линии, коаксиального проводника
2. Проблемы шумов в измерениях в мощных импульсных системах.

Пример 2:

1. Принципы и средства динамической генерации экстремальных состояний.
2. Диффузия магнитного поля в плазме.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - 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 отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - 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 хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.