

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

Принято на Ученом совете
ОИВТ РАН
Протокол № 5 от 21.06.2022

«Утверждаю»
Директор ОИВТ РАН


Академик Петров О.Ф.
« 2022 год



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Измерения в электрофизических экспериментах»

направление подготовки **03.06.01 «Физика и астрономия»**
(направленность – 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки)

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Москва
2022 год

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью освоения дисциплины «Измерения в электрофизических экспериментах» является изучение основных подходов к транспортировке и регистрации электрических сигналов, а также к построению измерительных систем, используемых в электрофизических экспериментах.

Задачами данного курса являются:

- 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. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Вычислительные методы в моделировании» базируется на дисциплине общая физика, в частности, электричество и магнетизм, а также на курсе обработке экспериментальных данных. Освоение курса необходимо для разносторонней подготовки к профессиональной деятельности, включающей как проведение фундаментальных исследований, так и постановку и решение инженерных задач с использованием современного оборудования.

3. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

4. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Второй год, четвертый семестр обучения.

5. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.

Вариативная часть, в т.ч. :	<u> 4 </u> зач. ед.
Лекции	<u> 32 </u> часа
Практические занятия	<u> 40 </u> часов
Лабораторные работы	<u> - </u> часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	<u> - </u> часов
Самостоятельные занятия	<u> 72 </u> часа
Итоговая аттестация	Диф. Зачет
ВСЕГО	144 часа (4 зач. ед.)

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

1. Знать:

- Принципы и подходы к транспортировке и регистрации электрических сигналов
- Методы диагностики постоянных и импульсных токов, высоких уровней электрических напряжений, магнитных полей и проводимости плазмы

- Способы ослабления, интегрирования и дифференцирования электрических сигналов и их применения в конкретных схемах
- Амплитудные и частотные характеристики основных применяемых в электрофизических экспериментах измерительных схем
- Причины возникновения электрических шумов в измерительных системах

2. Уметь:

- Читать и строить электрические измерительные схемы, строить эквивалентные электрические схемы
- Рассчитывать параметры делителей напряжения, поясов Роговского, магнитных зондов для измерения импульсных и высокочастотных токов и напряжений.

3. Владеть:

- Методами ослабления шумов в измерительных системах
- Методами вычисления ошибок измерений и обработки экспериментальных данных

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам

№ темы и название	Количество часов
1. Основы регистрации и передачи электрических сигналов.	30
2. Методы диагностики постоянных и импульсных токов, высоких уровней электрических напряжений в электрофизических экспериментах	90
3. Методы борьбы с шумами в измерительных системах, вычисление ошибок, обработка экспериментальных данных	24
ВСЕГО (зач. ед.(часов))	144 часа

Лекции:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	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
2	Принципы и средства динамической генерации экстремальных 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.	2

3	Основы регистрации и передачи электрических сигналов. Электрические цепи переменного тока, делитель напряжения, импеданс. Интегрирующие и дифференцирующие цепочки, длинные линии, коэффициент стоячей волны.	2
4	Измерение тока на элементе цепи. Электрический шунт, импеданс шунта. Геометрия шунтов: плоский, коаксиальный, высокочастотный, сильноточный. Подключение шунтов. Разнесенные земли. Калибровка шунта.	2
5	Измерения импульсных токов. Пояс Роговского. Геометрия пояса Роговского. Регистрация сигнала с шунта. Дифференцирующий и интегрирующий пояс Роговского. Калибровка пояса Роговского.	3
6	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.	2
7	Средства регистрации напряжений. Омические и емкостные делители. Компенсированный делитель. Подбор параметров делителей, реализация, меры предосторожности, калибровка.	3
8	Трансформатор, как измеритель напряжения и гальваническая развязка. Коэффициент взаимной индукции. Переходные процессы. Время установления напряжения. Передача низкочастотных сигналов. Эквивалентная схема.	4
9	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.	4
10	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	4
11	Основы метрологии. Виды и методы измерений. Источники погрешностей. Вычисление ошибок. Плотность вероятности, распределение Стьюдента, распределение Гаусса, доверительная вероятность. Представление результатов измерений.	4
ВСЕГО (зач. ед.(часов))		32 часа

Лабораторные занятия: нет

Практические занятия (семинары)

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	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
2	Принципы и средства динамической генерации экстремальных 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.	2
3	Основы регистрации и передачи электрических сигналов. Электрические цепи переменного тока, делитель напряжения, импеданс. Интегрирующие и дифференцирующие цепочки, длинные линии, коэффициент стоячей волны.	2
4	Измерение тока на элементе цепи. Электрический шунт, импеданс шунта. Геометрия шунтов: плоский, коаксиальный, высокочастотный, сильноточный. Подключение шунтов. Разнесенные земли. Калибровка шунта.	2
5	Измерения импульсных токов. Пояс Роговского. Геометрия пояса Роговского. Регистрация сигнала с шунта. Дифференцирующий и интегрирующий пояс Роговского. Калибровка пояса Роговского.	3
6	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.	2
7	Средства регистрации напряжений. Омические и емкостные делители. Компенсированный делитель. Подбор параметров делителей, реализация, меры предосторожности, калибровка.	4
8	Трансформатор, как измеритель напряжения и гальваническая развязка. Коэффициент взаимной индукции. Переходные процессы. Время установления напряжения. Передача низкочастотных сигналов. Эквивалентная схема.	5

9	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.	5
10	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	5
11	Основы метрологии. Виды и методы измерений. Источники погрешностей. Вычисление ошибок. Плотность вероятности, распределение Стьюдента, распределение Гаусса, доверительная вероятность. Представление результатов измерений.	8
ВСЕГО (зач. ед.(часов))		40 часов

Самостоятельная работа:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	20 часа
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.	36 часов
3	-подготовка к дифференцированному зачету	16 часа
ВСЕГО (часов)		72 часов

Содержание дисциплины

№ п/п	Название модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (часы)	Самостоятельная работа (часы)

1	I. ОСНОВЫ РЕГИСТРАЦИИ И ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.	Схема получения экспериментальных результатов.	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	2
2		Характерные величины измеряемых параметров	Принципы и средства динамической генерации экстремальных 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.	2	2
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.	2	2
4	II. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПОСТОЯННЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ, ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	Электрический шунт	Измерение тока на элементе цепи. Электрический шунт, импеданс шунта. Геометрия шунтов: плоский, коаксиальный, высокочастотный, сильноточный. Подключение шунтов. Разнесенные земли. Калибровка шунта.	2	2
5		Пояс Роговского	Измерения импульсных токов. Пояс Роговского. Геометрия пояса Роговского. Регистрация сигнала с шунта. Дифференцирующий и интегрирующий пояс Роговского. Калибровка пояса Роговского.	3	3
6		Магнитный зонд.	Измерения магнитных полей. Магнитный зонд. Частотная характеристика и	2	2

			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.	3	4
8		Трансформатор	Трансформатор, как измеритель напряжения и гальваническая развязка. Коэффициент взаимной индукции. Переходные процессы. Время установления напряжения. Передача низкочастотных сигналов. Эквивалентная схема.	4	5
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.	4	5
10	III МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ШУМАМИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ, ВЫЧИСЛЕНИЕ ОШИБОК, ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	Проблемы шумов в измерениях	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	4	5
11		Основы метрологии.	Основы метрологии. Виды и методы измерений. Источники погрешностей. Вычисление ошибок. Плотность	4	8

			вероятности, распределение Стьюдента, распределение Гаусса, доверительная вероятность. Представление результатов измерений.		
--	--	--	---	--	--

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

Перечень контрольных вопросов для сдачи зачета.

1. Измерение импульсных электрических напряжений: омические и емкостные делители напряжения.
2. Электрические шунты
3. Погрешности аналогового интегрирования и дифференцирования
4. Вычислить индуктивность двухпроводной линии, коаксиального проводника.
5. Измерения импульсных электрических токов с помощью индукционных датчиков (пояс Роговского)
6. Регистрация пространственно-временных распределений плотности электрических токов с помощью индукционных магнитных зондов
7. Как выявить наличие емкостной связи индуктивного зонда с объектом измерения.
8. Измерение импульсных магнитных полей индукционными методами
9. Что такое гальваническая связь между силовым и измерительным контурами?
10. Измерение вихревого электрического поля (Е-виток)
11. Индукционный метод измерения электропроводности: трансформаторный (двухкатушечный) метод
12. Дифференцирующий, интегрирующий пояс Роговского. Ошибка интегрирования.
13. Паразитные сигналы вследствие импульсных электромагнитных наводок.
14. Частотная характеристика трансформатора
15. Вычисление ошибок измерений

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

- a. **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет
- b. **Необходимое программное обеспечение:** Интернет-браузер
- c. **Обеспечение самостоятельной работы:** доступ в Интернет

10. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

русский

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

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.

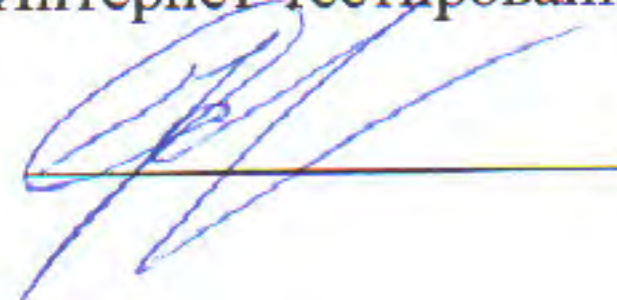
Дополнительная литература:

1. G Liziakin, N Antonov, R Usmanov, A Melnikov, R Timirkhanov, N Vorona, V S Smirnov, A Oiler, S Kislenko, A Gavrikov and V P Smirnov, Experimental demonstration of plasma mass separation in a configuration with a potential well and crossed electric and magnetic fields , PLASMA PHYS CONTR F , 2021 , 63 , 032002
2. A. D. Melnikov, R. A. Usmanov, R. K. Amirov, N. N. Antonov, A. V. Gavrikov, G. D. Liziakin, V. P. Polistchok, V. P. Smirnov, Study of the Ion Composition of the Diffuse Vacuum Arc on a Hot Cathode by the Time-of-Flight Method, Plasma Physics Reports. 46 (2020) 611–616.
3. R.A. Usmanov, R.K. Amirov, A.V. Gavrikov, G.D. Liziakin, A.D. Melnikov, V.P. Polistchok, I.S. Samoylov, V.P. Smirnov, N.A. Vorona, I.M. Yartsev, Diffuse vacuum arc with heated cathode made of ceramic (CeO₂) and metal (Cr) mixture, Plasma Sources Science and Technology. 29 (2020) 15004
4. N.A. Vorona, A.V. Gavrikov, S.D. Kuzmichev, G.D. Liziakin, A.D. Melnikov, Y.A. Murzaev, V.P. Smirnov, R.A. Timirkhanov, R.A. Usmanov, Large Helicon Plasma Source for the Method of Plasma Separation of Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste, IEEE Transactions on Plasma Science. 47 (2019) 1223–1230.
5. G.D. Liziakin, A.V. Gavrikov, R.A. Usmanov, V.P. Smirnov, The electric field of the electrodes immersed into the rotating plasmas, Journal of Physics: Conference Series. 1147 (2019) 12130.
6. Gennadii Liziakin, Andrey Gavrikov, Ravil Usmanov, Rinat Timirkhanov and Valentin Smirnov Electric potential profile created by end electrodes in a magnetized rf discharge plasma // AIP Advances, V. 7, 2017, 125108
7. V. P. Polishchuk, R. A. Usmanov, A. D. Melnikov, N. A. Vorona, I. M. Yartsev, R. K. Amirov, A. V. Gavrikov, G. D. Liziakin, I. S. Samoylov, V. P. Smirnov, N. N. Antonov, Vacuum Arcs with Diffuse Cathode Attachment (Review), High Temperature. 58 (2020) 476–494.

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

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1604/?t=492> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.exponenta.ru> – образовательный физический сайт.
3. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
5. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
6. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

Программу составил



к.ф.-м.н. Усманов Р.А.

«14» июня 2022г.